

N° d'ordre 23

THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE L'UNIVERSITÉ DE CAEN

en vue de l'obtention du grade de

DOCTEUR ÈS-SCIENCES

DE L'UNIVERSITÉ DE CAEN

par

MARCEL MOUTON

Ingénieur Diplômé de l'Institut Technique de Normandie

et de l'Ecole Supérieure d'Electricité de Paris

Licencié ès-Sciences

PREMIÈRE THÈSE

**Recherches sur les propriétés physiques et les effets
physiologiques d'une lumière colorée**

DEUXIÈME THÈSE

Propositions données par la Faculté

Soutenues le 29 Juin 1935 devant la Commission d'Examen

MM. BLANC.	Président
CHAUVENET.	} Examineurs
LE ROUX.	

PARIS

IMPRIMERIE SAUVION ET LELIÈVRE

25, Rue Vernier

—
1935



Digitized by the Internet Archive
in 2026

N° d'ordre 23

THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE L'UNIVERSITÉ DE CAEN

en vue de l'obtention du grade de

DOCTEUR ÈS-SCIENCES

DE L'UNIVERSITÉ DE CAEN

par

MARCEL MOUTON

Ingénieur Diplômé de l'Institut Technique de Normandie
et de l'Ecole Supérieure d'Electricité de Paris
Licencié ès-Sciences

PREMIÈRE THÈSE

**Recherches sur les propriétés physiques et les effets
physiologiques d'une lumière colorée**

DEUXIÈME THÈSE

Propositions données par la Faculté

Soutenues le 29 Juin 1935 devant la Commission d'Examen

MM. BLANC.	Président
CHAUVENET.	Examineurs
LE ROUX.	

PARIS
IMPRIMERIE SAUVION ET LELIÈVRE
25, Rue Vernier

—
1935

Faculté des Sciences de l'Université de Caen

MM.

Doyen	BLANC, Professeur.
Assesseur	ZORETTI, Professeur.
Doyen honoraire . . .	BIGOT, Correspondant de l'Institut.
Professeur honoraire.	MAURAIN, Doyen de la Faculté des Sciences de Paris
Professeurs	ZORETTI, Mécanique générale.
	BLANC, Physique et Minéralogie.
	MERCIER, Zoologie et physiologie animale.
	CHAUVENET, Chimie générale.
	JANET, Calcul différentiel et intégral.
	CHOUX, Botanique.
	DANGEARD, Géologie et paléontologie.
Maîtres de Conférences	AUDIGÉ, Zoologie.
	BOUYGUES, Botanique.
	LE ROUX, Physique.
	M ^{me} DEMASSIEUX, Chimie.
Secrétaire.....	ROUX.



*La Faculté n'entend donner aucune appro-
bation ou improbation aux opinions émises
dans les thèses ; ces opinions doivent être
considérées comme propres à leurs auteurs.*

A ma Femme

A mes Parents

A mes Enfants

A mon Maître Monsieur A. BLANC

qui a bien voulu accepter
la présidence de cette thèse

en témoignage de ma
profonde reconnaissance

A Monsieur Alfred MONNIER
Administrateur délégué de la Société
« La Lampe Yvel »

Hommage de vive gratitude
et de respectueux dévouement

La présente étude a été entreprise à la suite de recherches effectuées en collaboration avec M. Alfred MONNIER, Directeur Technique et Administrateur-délégué de la Société « LA LAMPE YVEL », et dont les résultats ont permis d'apporter à l'éclairage des automobiles un perfectionnement obtenu par l'utilisation d'un verre jaune de composition spéciale.

L'application de ce verre jaune à la fabrication des ampoules de lampes a conduit à la réalisation d'un éclairage produisant des réactions physiologiques importantes et variées ; c'est ainsi que j'ai été amené à poursuivre une étude minutieuse et approfondie sur les propriétés des verres au sulfure de cadmium, sur les caractéristiques physiques et colorimétriques de la lumière émise par un filament de tungstène porté à l'incandescence dans une enveloppe en verre au sulfure de cadmium, ainsi que sur les réactions physiologiques de l'œil humain sous l'effet de cette lumière.

Qu'il me soit permis de remercier ici les personnes dont le concours

m'a été précieux pour mener à bien ces travaux, et notamment :

M. MONNIER, à qui je tiens à exprimer ma profonde reconnaissance pour l'aide si bienveillante et encourageante qu'il m'a toujours apportée et pour l'intérêt qu'il n'a cessé de témoigner à mes travaux, notamment en mettant à ma disposition tous les moyens nécessaires à mes recherches.

M. BLANC, Doyen de la Faculté des Sciences, Professeur de Physique, dont j'ai, depuis toujours, vivement apprécié les témoignages de bienveillante sollicitude.

M. le Docteur NAVARRE, professeur à l'Ecole de Médecine de Caen, Sous-Directeur de l'Institut d'Hygiène de la Faculté de Médecine de Paris, dont la haute autorité dans un domaine qui m'était peu familier, m'a été d'un précieux concours.

M. GAMBLE, pour la part importante et efficace qu'il a très obligeamment prise, pendant le cours de mes travaux, à la réalisation d'essais longs et délicats.

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION.	1
CHAPITRE I. — Verres au sulfure de cadmium	5
CHAPITRE II. — Caractéristiques des lampes, du verre et de la lumière jaune émise	14
a) Caractéristiques des lampes	14
b) Caractéristiques spectrophotométriques du verre	15
c) Caractéristiques colorimétriques de la lumière jaune	17
d) Facteur de transmission totale	28
CHAPITRE III. — Points examinés antérieurement par divers auteurs	31
CHAPITRE IV. — Expériences et énoncé des résultats	38
A) ACUITÉ VISUELLE	38
a) Mesure de l'acuité visuelle	39
b) Influence du rétrécissement pupillaire sur l'acuité	54
c) Influence des contrastes sur l'acuité	58
d) Acuité pour les tests de petites dimensions	63
e) Influence de la dimension des tests sur l'acuité	65
B) VISIBILITÉ DES OBJETS	67
a) Etude de la visibilité des objets	69
b) Effets du brouillard sur la portée d'un projecteur	77
C) PERTURBATIONS VISUELLES	83
a) Temps de réadaptation	83
b) Modification de l'acuité visuelle et de la rapidité de discrimination en fonction du temps	86
CHAPITRE V. — Résumé et conclusions.	90
BIBLIOGRAPHIE.	93

INTRODUCTION

Il y a vingt ans environ, M. André BLONDEL signalait certaines particularités relatives à l'utilisation de projecteurs à miroir doré, conçus par M. Jean REY, pour la Marine de Guerre (1).

M. Jean REY, dans ses travaux et son enseignement, indique que « le faisceau lumineux obtenu à l'aide d'une source ordinaire « et d'un miroir doré est jaunâtre et beaucoup moins éclatant « que le faisceau produit par un miroir argenté ; dans un air légèrement humide, la différence est des plus sensibles. Par contre, « lorsqu'on examine les objets éclairés par les deux faisceaux, et « c'est là le but de l'emploi des projecteurs électriques, on constate « que les détails, avec le faisceau doré, pour le même calibre d'appareils et pour la même puissance consommée dans l'arc, sont « nettement plus visibles. Les expériences faites à cet effet dans « les escadres françaises, il y a déjà une vingtaine d'années, ont « été à cet égard des plus nettes ; les canonnières pointeurs ont « toujours trouvé une certaine supériorité au faisceau doré... (2) »

Par ailleurs, MOTAIS et TSCHERNING (3) avaient déjà constaté, dès 1906, que les rayons gênants pour la rétine sont les rayons chimiques et les rayons visibles de courte longueur d'onde. Etudiant l'influence des verres jaunes sur les yeux malades, ils concluaient que l'usage de ces verres produit deux effets simultanés bienfaisants : une sensation de meilleur éclairage et une sensation de calme. C'est ce qu'a également constaté le docteur Dyé (4).

La plupart de ces travaux ne donnaient cependant aucune indication précise sur la composition spectrale de la lumière jaune émise.

(1) A ce sujet, voir comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences, séance du 26 mars 1934.

(2) Cours de l'Ecole Supérieure d'Electricité.

(3) Motais. — Communication à l'Académie de Médecine, 27 mars 1906.

(4) De l'emploi des verres jaunes en Ophtalmologie. Revue de Médecine et d'Hygiène Tropicales, 1907.

Au cours des recherches entreprises en collaboration avec M. Alfred MONNIER, et nous basant sur les données physiques et physiologiques généralement admises (moindre diffusion des radiations de courte longueur d'onde par les gouttelettes de brouillard dont est généralement imprégnée l'atmosphère de nos régions, et sensibilité excessive de la partie périphérique de l'œil à ces radiations), nous avons étudié et réalisé au début de l'année 1933 (1), un verre jaune sélectif à base de sulfure de cadmium qui, sous la très faible épaisseur imposée par les conditions de fabrication des ampoules de lampes à incandescence, présente la particularité d'absorber intégralement toutes les radiations de longueur d'onde inférieure à 4700 Angström et de filtrer toutes les radiations de longueur d'onde supérieure à cette valeur.

L'expérience a montré que, appliquée aux projecteurs d'automobiles, cette lumière jaune détermine des effets physiologiques heureux pour les usagers de la route. Certains de ces effets avaient été signalés par M. André BLONDEL, dans son étude sur les projecteurs à réflecteurs dorés (2), mais ils n'avaient pas été constatés lorsqu'il était fait usage d'écrans de verres dont la couleur jaune était due au carbone ou au manganèse, les seuls réalisés dans ce genre à cette époque. Les premières constatations faites à la suite de l'emploi des miroirs dorés se sont trouvées non seulement confirmées, mais encore renforcées du fait de la plus grande sélectivité de la lumière émise par les lampes à ampoule au sulfure de cadmium (3).

J'ai dès lors tenu à approfondir les résultats obtenus avec une telle lumière de composition spectrale parfaitement déterminée, et *entièrement* différente des lumières monochromatiques, qui présentent par ailleurs un double inconvénient : elles altèrent les teintes des objets et dans certains cas créent divers troubles physiologiques.

(1) Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences, séance du 29 mai 1933.

(2) J. Rey. — Notice sur un nouveau système de phares à réflecteurs métalliques. — Paris, 1913.

(3) Procès-verbal de la séance du 6 Novembre 1933 de la Société Française des Electriciens. Intervention de M. Antoine Marsat.

L'étude comparative entre cette lumière jaune et la lumière émise par une même source lumineuse devant laquelle il n'est pas fait interposition d'un filtre au sulfure de cadmium, a été réalisée autant que possible dans les conditions usuelles d'éclairage des véhicules automobiles, en faisant appel à un grand nombre de sujets d'âges différents et de conditions visuelles diverses.

Dans le premier chapitre de cette étude, je me propose de donner un aperçu très bref de la composition des verres au sulfure de cadmium et de la fabrication des ampoules par soufflage.

Le deuxième chapitre aura pour objet de préciser les caractéristiques physiques du verre, ainsi que celles de la lumière produite par les lampes qui ont été utilisées au cours des essais.

Le troisième chapitre sera consacré aux études déjà entreprises par différents auteurs sur les effets physiologiques produits par les lumières jaunes de composition spectrale identique à celle qui fait l'objet de cette étude.

Les expériences, tableaux et courbes qui synthétisent les résultats, ainsi que leur interprétation feront l'objet de la quatrième partie.

Enfin, la cinquième partie sera consacrée aux conclusions qui paraissent découler de l'ensemble de cette étude.

CHAPITRE I

VERRES AU SULFURE DE CADMIUM

H.-P. Rooksky (1) est le premier, semble-t-il, qui ait expliqué la nature de la coloration des verres au sulfure de sélénium et de cadmium, en indiquant qu'elle serait due à la précipitation de particules colloïdales colorées dans une solution solide de sulfure de cadmium et de sélénium incolore.

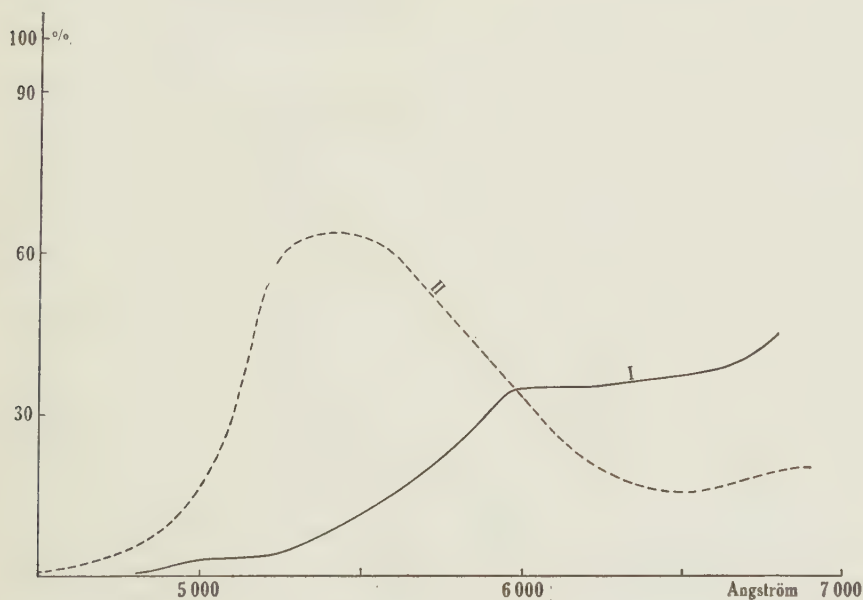


Fig. I. — Courbes de transmission — I : Verre au charbon — II : Verre au chrome.

La plupart de ces verres, suivant la proportion des constituants, n'atteignent la coloration désirée qu'après un certain recuit, et parfois même une série de traitements thermiques permettant de faire varier la teinte depuis le jaune citron jusqu'au rouge.

(1) H.-P. Rooksky. — *Journal of Glass Technology*, juin 1932, p. 171-179.

Je me bornerai à l'étude du verre au sulfure de cadmium présentant une courbe de transmission spectrale à chute brusque au voisinage de 5 000 Angström. Ce verre est très différent de tous les autres verres jaunes et notamment des verres au charbon, dont la courbe de transmission présente un maximum dans le rouge avec abaissement progressif vers les radiations bleues.

Le facteur de transmission en fonction de la longueur d'onde, pour les verres au charbon et pour les verres à l'oxyde de chrome, est donné dans les tableaux I et II ci-dessous :

TABLEAU I

Verre au charbon
(jaune brun) (1)

6 800	0,45
6 600	0,38
6 400	0,37
6 200	0,35
6 000	0,35
5 800	0,24
5 600	0,15
5 400	0,08
5 200	0,035
5 000	0,03
4 800	0,005

TABLEAU II

Verre à l'oxyde de chrome
(jaune vert) (1)

6 900	0,20
6 700	0,18
6 500	0,16
6 300	0,185
6 100	0,26
5 900	0,40
5 700	0,55
5 500	0,63
5 300	0,62
5 100	0,295
4 900	0,095
4 500	0,01

Ainsi qu'on peut le remarquer, les courbes de transmission pour chacun de ces deux verres (*fig. 1, courbes 1 et 2*) sont totalement différentes de celle du verre au sulfure de cadmium (*fig. 2*).

La coloration du verre au sulfure de cadmium est jaune d'or. La principale caractéristique de ce verre est son opacité quasi complète aux radiations ultra-violettes, violettes et bleues, et sa grande transparence aux radiations vertes, jaunes, orangées et rouges.

(1) Valeurs données par les Laboratoires de la Société Holophane.

D'après M. B. LONG, Directeur du Laboratoire des Glaceries de Saint-Gobain, sa coloration se développe le plus souvent par réchauffage. « Le sulfure de cadmium, primitivement dissous » « dans le verre à l'état incolore (1), se séparerait d'abord à » « l'état moléculaire coloré; la concentration augmenterait avec » « la température de réchauffage jusqu'au moment où il y aurait » « formation de particules colloïdales ».

« Mais, lorsque le réchauffage est poussé trop loin, le verre » « se trouble, flocule, la dimension des cristaux pouvant atteindre » « 1,6 micron de côté (2). »

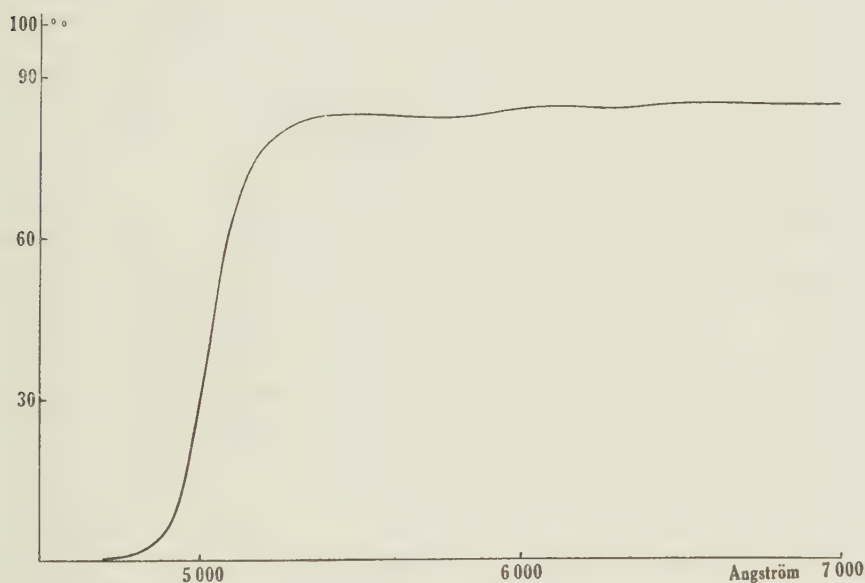


Fig. 2. — Courbe de transmission du verre au sulfure de cadmium.

La fabrication des verres au sulfure de cadmium est, en effet, d'une réalisation industrielle fort délicate, car il est possible, sans modifier la proportion des constituants, d'obtenir des teintes sensiblement différentes.

Plusieurs facteurs principaux sont susceptibles d'influer notablement sur la couleur définitive, notamment la nature et la pureté

(1) B. Long. — Propriétés physiques et fusion du verre. Dunod, 1933, p. 137.

(2) H. Heinrichs et C.-A. Becker. — Sprechsaal, 1928.

des composants, le mode opératoire de fusion du mélange, le façonnage du verre obtenu, les traitements thermiques ultérieurs.

L'importance de ces divers facteurs est telle qu'ils sont le plus souvent tenus secrets par les verriers.

La fabrication, déjà très complexe, l'est plus encore quand il s'agit de réaliser des ampoules de faible épaisseur (de l'ordre de 0,3 mm), présentant toutes les qualités sélectives requises pour les lampes électriques à incandescence.

Secondés par les laboratoires de la SOCIÉTÉ HOLOPHANE et par ceux de la CRISTALLERIE DE COURBEVOIE, nous avons mis au point la fabrication de ces ampoules. Deux méthodes ont été appliquées : la première nécessite une recuisson des ampoules à température élevée pour faire apparaître la couleur (1) ; la seconde permet d'obtenir au moulage la couleur désirée en agissant uniquement sur la nature des constituants (2).

Première méthode. — Une composition du verre est la suivante :

Silice	100 kg
Carbonate de soude	45 kg
Carbonate de potasse.....	2 kg 50
Carbonate de chaux.....	18 kg
Oxyde de zinc.....	5 kg
Soufre	1 kg 500
Sulfure de cadmium.....	4 kg 500
Oxyde d'antimoine	0 kg 150
Anhydride arsénieux	0 kg 300

On sait que les éléments composant les verres peuvent se grouper en six familles (3) jouant des rôles distincts dans la fabrication :

- 1° Les vitrifiants ;
- 2° Les bases et oxydes ;
- 3° Les fondants ;

(1) Brevet A. Monnier et M. Mouton du 4 avril 1933.

(2) Brevet Jérôme et Bonnefoy du 27 octobre 1933.

(3) E. Damour. — Cours de verrerie. Béranger, 1929.

4° Les éléments intermédiaires ou oxydes indifférents ;

5° Les éléments accessoires introduits à faible dose et intervenant comme correctifs ;

6° Les éléments parasites, introduits accidentellement, impurétés ou gaz dissous.

Dans la formule que j'indique, le vitrifiant est la silice ; fusible à très haute température, son point de fusion est abaissé par l'addition des oxydes métalliques et de la chaux.

Les bases et les oxydes sont représentés : 1° par le carbonate de chaux qui facilite la fusion et améliore l'affinage en donnant de la fluidité au verre à haute température ; 2° par l'oxyde de zinc qui a pour effet de rendre le verre peu bulleux, d'une transparence et d'un éclat satisfaisants.

Les fondants sont représentés par les carbonates de soude et de potasse. Leur effet est double : ils augmentent la fusibilité en abaissant le point de transformation de l'état solide à l'état liquide et accroissent l'étendue du palier de fusibilité.

Le choix entre ces deux fondants est le plus souvent imposé par des considérations économiques.

Les verriers de Bohême affirment que le carbonate de potasse donne au verre plus d'éclat que le carbonate de soude. Il semble cependant qu'il y ait intérêt à utiliser un mélange de ces deux produits, les verres siliceux restant d'autant plus facilement en état de surfusion que les carbonates alcalins ou alcalino-terreux sont plus nombreux.

Dans la formule utilisée, les éléments intermédiaires, ou oxydes indifférents (alumine et oxyde de fer), ne sont pas représentés.

Les éléments correctifs ont pour but de faciliter la fusion et l'affinage du verre. L'anhydride arsénieux As_2O_3 agit surtout pour brasser et homogénéiser le verre, car il donne naissance à des produits volatils. Par ailleurs, il agit comme réducteur, car la portion qui ne se volatilise pas se transforme en anhydride arsénique As_2O_5 .

L'antimoine, dont le rôle paraît imprécis, est cependant utilisé par bon nombre de verriers. Il semble bien qu'en raison de son

oxydation facile, il élimine les gaz en formant des bulles volatiles et légères, qui ont pour effet de brasser énergiquement le verre. Il est introduit dans la composition sous forme d'oxyde Sb^2O^3 à l'état de poudre fine concassée dans un mortier.

Tous ces produits sont placés dans des pots en terre réfractaire que l'on dispose dans un four. Le verre est maintenu en fusion à 1 450° environ pendant huit heures. Cette opération est effectuée « à pots couverts », afin d'éviter la volatilisation et l'oxydation des composants colorants.

Le four doit être maintenu constamment à cette température, toute augmentation notable entraînant l'opalisation, toute diminution ayant pour effet de faire apparaître des bouillons dans la masse du verre.

Vers la septième heure, on effectue des prélèvements. Dès que ceux-ci montrent l'absence totale de bouillons, les pots sont débouchés. C'est la période d'affinage du verre, qui peut durer jusqu'à cinq heures, et pendant laquelle le verre bouillonne en donnant d'abord de grosses bulles rondes, puis des bulles ovales de plus en plus petites.

On procède alors au soufflage des ampoules ; les pots sont en partie rebouchés, la température est constamment surveillée et maintenue à sa valeur primitive, toujours afin d'éviter la formation de bouillons. Les ampoules sont soufflées dans les moules à l'aide d'une canne métallique. Ces moules doivent être portés à une température d'environ 70° lorsqu'il s'agit d'obtenir des ampoules profilées qui ne permettent pas à l'ouvrier de faire tourner la canne.

La teinte des ampoules est d'un jaune verdâtre à peine prononcé. C'est alors qu'on procède au réchauffage dans un moufle au voisinage de la température de ramollissement du verre. Cette température est facilement discernée à l'œil, car le verre prend une teinte rouge sang. C'est après cette opération que l'ampoule, en se refroidissant lentement, prend sa teinte définitive.

Deuxième méthode. La composition du verre est telle qu'elle permet d'éviter tout traitement thermique subséquent au moulage, et d'obtenir une teinte uniforme pour toutes les ampoules.

A cet effet, la composition mentionnée précédemment est modifiée par l'adjonction d'oxyde d'étain et de sélénium, par l'augmentation de la proportion de sulfure de cadmium et la diminution de la proportion de soufre.

Une composition est la suivante :

Silice	100 kg
Carbonate de soude	45 kg
Carbonate de potasse	2 kg
Carbonate de chaux	18 kg
Oxyde de zinc	4 kg
Soufre en fleur	0 kg 3
Sulfure de cadmium	7 kg
Oxyde d'antimoine.....	1 kg
Oxyde d'étain	0 kg 4
Sélénium métallique.....	0 kg 05

Cette composition comprend, par rapport à la précédente, deux éléments correctifs, le sélénium métallique et l'oxyde d'étain blanc, le premier décolorant, le second opacifiant.

En présence de sulfure de cadmium, le sélénium, qui apporte une légère coloration vers le rouge, assure plus facilement une teinte franche et régulière.

Le bioxyde d'étain, d'une part, accuse une tendance à opacifier et, d'autre part, à faible dose, facilite l'apparition de la couleur.

Le processus de cuisson restant identique à celui du premier procédé, le réchauffage des ampoules est supprimé, car la coloration définitive est obtenue directement lors du refroidissement normal du verre aussitôt après moulage.

Nous avons dû tenir compte dans la réalisation des ampoules, de certains facteurs difficilement décelables qui modifient la teinte définitive du verre, soit en augmentant la tendance à la floculation, soit en rendant difficile l'obtention d'une teinte franche.

il semblerait que l'opalescence soit produite plus spécialement (1) par la précipitation de particules colloïdales de sulfure de zinc,

(1) Patente Américaine n° 436.257. Corning Glass, New-York.

très peu soluble dans le verre, qui peuvent prendre naissance quand un sulfure quelconque est ajouté à un verre contenant de l'oxyde de zinc.

Or, il est difficile de supprimer l'oxyde de zinc. En le remplaçant par l'oxyde de plomb, le sulfure de cadmium est rapidement volatilisé et éliminé pendant la fusion.

Les verres à base de bore et de silice ne peuvent davantage être utilisés, car, sans addition de sulfure de zinc, la présence de sulfure de cadmium ne suffit pas à leur donner une courbe spectrale à coupure nette. Par ailleurs, l'addition de sulfure de zinc les rend très rapidement opaques.

Il est préférable de s'en tenir aux verres à l'oxyde de zinc sans oxyde de bore, mais les compositions ne peuvent être maintenues intangibles et l'on prend toujours les mesures désirables pour éviter la précipitation d'un excès de sulfure de zinc.

On constate que l'opalescence due à cette floculation apparaît, notamment, soit par le maintien trop prolongé des couvercles sur les pots, soit par la concentration trop élevée du soufre, soit enfin par celle du sulfure de cadmium et par la présence d'un excès d'oxyde de zinc. On pourrait y remédier en ajoutant de l'oxyde de cadmium : la présence de ce produit tend, en effet, à provoquer la transformation du sulfure de zinc en oxyde de zinc et sulfure de cadmium, et, de ce fait, écarte le danger de la formation d'un précipité dû à l'excès de sulfure de zinc. Il semble bien que l'on puisse parvenir au même résultat en opérant en atmosphère oxydante. Inversement, on obtiendra plus facilement la coloration en travaillant en atmosphère réductrice.

La vitesse de refroidissement du verre pendant son transport depuis le pot jusqu'au moule est aussi d'une grande importance. Si le refroidissement est lent, il peut se produire une certaine floculation.

On doit donc tenir compte de ce nouvel élément lorsqu'il s'agit de réaliser des ampoules de différents diamètres ; la durée de l'opération de soufflage étant plus grande pour des ampoules de gros diamètres que pour celles de petites dimensions, le temps de refroidissement est plus long, ce qui a pour effet de provoquer l'opalescence.

En opérant comme je viens de le décrire, nous avons obtenu industriellement des ampoules de faible épaisseur dont la teinte reste parfaitement stable.

Pour nous assurer de la stabilité de ce verre, nous avons soumis des morceaux d'ampoules à l'action de radiations ultra-violettes émises par une lampe à vapeur de mercure d'une puissance de 800 w, à enveloppe de quartz. Les échantillons, au nombre de quatre (deux normaux et deux légèrement fluorescents), étaient disposés à 20 cm de la lampe et ont été irradiés pendant trois jours, à raison de neuf heures par jour.

Nous n'avons constaté aucun changement ni à l'œil, ni au spectrophotomètre, sur ces échantillons examinés à la fin de chaque séance et comparés à d'autres échantillons non irradiés, provenant des mêmes ampoules.

Nous n'avons pas davantage constaté de changement de teinte en soumettant des échantillons à l'action de la chaleur, la température des échantillons ne dépassant pas 250°.

De l'ensemble de cet exposé, il résulte que les verres au sulfure de cadmium, quoique d'une réalisation très délicate, permettent d'obtenir des ampoules de teinte définie et stable.

CHAPITRE II

CARACTÉRISTIQUES DES LAMPES, DU VERRE ET DE LA LUMIÈRE JAUNE ÉMISE

Dans ce chapitre, je me propose de définir les caractéristiques photométriques des lampes utilisées pour mes expériences, ainsi que les caractéristiques colorimétriques de la lumière jaune qui fait l'objet de la présente étude, comparées à celles de la lumière blanche émise par une même lampe au travers d'une ampoule en verre incolore.

a) **Caractéristiques des lampes.** — J'ai utilisé des lampes du type normal pour automobiles, comportant un filament de tungstène, formé d'un *boudin* de 35 spires. Le diamètre du fil est de 140 microns ; les spires sont enroulées sur un mandrin de 490 microns, le pas d'enroulement étant de 215 microns.

Les caractéristiques de ce filament sont les suivantes :

Tension	12	volt
Intensité	2,96	ampère
Puissance	35,5	watt
Intensité lumineuse	66	bougie
Puissance spécifique	0,546	watt par bougie
Flux lumineux.....	550	lumen
Facteur d'efficacité.....	18,5	lumen par watt

J'ai par ailleurs déterminé la brillance moyenne des spires, en mesurant l'éclairement de l'image projetée sur un écran diffusant, au moyen d'une lentille achromatique diaphragmée (*fig. 3*).



Fig. 3. — Dispositif projetant sur un écran diffusant l'image agrandie d'un filament pour déterminer sa brillance.

Si p désigne en mètres la distance de l'écran au diaphragme,
 E l'éclairement en lux d'un point de l'image de la spire sur l'écran,
 S la surface du diaphragme en m^2 ,
 τ le facteur de transmission de la lentille,
la brillance B en bougies par m^2 est donnée par la formule :

$$B = \frac{E p^2}{S \tau}$$

J'ai obtenu pour les filaments de lampes d'essai, une brillance moyenne de 1 200 h/cm². Les mesures ont été faites à l'aide d'un luxmètre WAGUET à objectif, utilisé en micro-brillancemètre.

Les filaments, qui ont été montés dans des ampoules incolores et dans des ampoules jaunes, ont été prélevés sur une même bobine d'un fil soigneusement étiré afin que les constantes électriques soient rigoureusement les mêmes.

b) Caractéristiques spectrophotométriques du verre. —

Afin de rechercher la courbe de transmission du verre au sulfure de cadmium dont les caractéristiques ont été données au cours du premier chapitre, j'ai fait usage d'un spectrophotomètre YVON à deux parcours, la source lumineuse étant une lampe à arc entre électrodes de tungstène. Sur l'un des parcours, j'ai interposé le verre à étudier, en l'occurrence une petite lame de verre au sulfure de cadmium à faces parallèles. Toutefois, étant donné qu'un



Fig. 4. — Système optique utilisé dans le spectrophotomètre pour éviter le déplacement du faisceau à travers une lame de verre à faces non parallèles.

morceau d'ampoule ne constitue pas une lame à faces rigoureusement parallèles, mais un ménisque susceptible de produire un déplacement relatif des deux faisceaux, j'ai pris la précaution de placer le verre entre deux lentilles de même longueur focale, choisie suffisamment grande (10 cm) pour que les rayons puissent être considérés comme traversant normalement le verre interposé. La surface utile de l'échantillon n'excédait pas un millimètre carré (*fig. 4*).

La formule générale qui donne la densité de deux filtres 1 et 2, placés respectivement sur les parcours 1 et 2, est de la forme :

$$d_1 - d_2 = N - (v_1 - v_2) - \Phi$$

v_1 et v_2 étant les densités totales des milieux correspondant à chacun des deux parcours, N la densité variable des nicols croisés situés sur le parcours 2 et Φ une fonction des sources et des éléments géométriques de l'appareil.

En plaçant un filtre sur le parcours 1, nous avons :

$$d_1 = d \text{ (densité du filtre)}$$

$$d_2 = 0$$

$$\text{d'où : } d = N - (v_1 - v_2) - \Phi$$

Puis en recommençant la mesure sans filtre :

$$d_1 = 0$$

$$d_2 = 0$$

$$\text{d'où : } 0 = N_0 - (v_1 - v_2)_0 - \Phi$$

Si les densités v n'ont pas été modifiées :

$$v_1 - v_2 = (v_1 - v_2)_0$$

On peut donc écrire :

$$d = N - N_0$$

Or

$$N = 2 \operatorname{colog} \sin \theta$$

θ et θ_0 désignant les angles des sections principales des deux nicols à partir du croisement parfait pour lequel il y a extinction complète, on peut écrire :

$$d = 2 (\operatorname{colog} \sin \theta - \operatorname{colog} \sin \theta_0)$$

c'est-à-dire :

$$d = \operatorname{colog} \left(\frac{\sin \theta}{\sin \theta_0} \right)^2$$

Or, on sait que la densité d d'un milieu absorbant est liée au facteur de transmission t par la relation :

$$d = \text{colog } t$$

On a donc :

$$t = \left(\frac{\sin \theta}{\sin \theta_0} \right)^2$$

ou :

$$\log t = 2 (\log \sin \theta - \log \sin \theta_0).$$

J'ai mesuré cette densité d pour les radiations comprises entre 4 700 Angström et 7 000 Angström et ce, de 100 en 100 Angström.

Je donne ci-dessous à titre d'exemple les résultats obtenus pour la radiation $\lambda = 5\,300$ Angström, les angles θ et θ_0 étant obtenus en faisant la moyenne de 5 mesures.

$$\theta \text{ moyen} = 44^\circ 24'$$

$$\theta_0 \text{ moyen} = 50^\circ 54'$$

$$\log \sin \theta = \overline{1,844\,89}$$

$$\log \sin \theta_0 = \overline{1,889\,89}$$

$$\log \sin \theta - \log \sin \theta_0 = \overline{1,955\,00}$$

$$2 (\log \sin \theta - \log \sin \theta_0) = \overline{1,910\,00}$$

$$\text{d'où } t = 0,812\,8$$

La colonne 3 du tableau III donne les valeurs du facteur de transmission t en fonction de la longueur d'onde.

La courbe de la *figure 2* représentée précédemment, a été tracée d'après les valeurs tirées de ce tableau.

c) **Caractéristiques colorimétriques de la lumière jaune.** —

On sait depuis longtemps que la sensation produite par une lumière colorée quelconque peut être reproduite, et cela avec une approximation suffisante, en limitant à trois le nombre des sensations élémentaires.

YOUNG et HELMHOLTZ, notamment, ont donné une représentation des trois sensations primaires produites sur l'œil par les diverses radiations du spectre, à égalité d'énergie pour chaque radiation. La sensation rouge, par exemple, est excitée au maximum par un certain rouge, et l'est de moins en moins à mesure que l'on s'écarte de ce rouge. Il en est de même des autres sensations. Le rayonnement que j'ai utilisé étant celui produit par une lampe à filament de tungstène porté à une certaine température, il est possible de déduire la courbe spectrale de son rayonnement et, par conséquent, les sensations qu'elle produit sur l'œil. Il y a cependant lieu d'ouvrir une parenthèse : d'une manière générale, la courbe qui représente le pouvoir émissif E_λ d'un corps quelconque, en fonction de la longueur d'onde, s'obtient en réduisant chaque ordonnée de la courbe du corps noir correspondant à la même température, dans un rapport égal au pouvoir absorbant A_λ .

Le plus souvent, et c'est le cas du tungstène, A_λ varie avec la longueur d'onde : le corps est dit coloré (1). Toutefois, pour le tungstène, la courbe qui représente son pouvoir émissif conserve l'allure de celle du corps noir. La courbe spectrale de rayonnement du tungstène n'est cependant pas la même que celle du corps noir à la même température.

D'après W.-E. FORSYTHE et A.-G. WORTHING (2), la température vraie d'un filament de tungstène est liée à la résistivité de ce corps par la formule :

$$\frac{\rho}{\rho_0} = \left(\frac{T}{T_0} \right)^\beta$$

où β est une constante égale à 1,2 environ dans l'intervalle compris entre 1 000 et 3 200° K.

Par ailleurs, FORSYTHE et WORTHING ont déterminé la relation existant entre la température T et la température de couleur T_c du tungstène.

(1) A. Blanc. — Rayonnement. Armand Colin, 1930.

(2) W.-E. Forsythe et A.-G. Worthing. — Propriétés du tungstène et caractéristiques des lampes à incandescence. Revue Générale de l'Electricité, T. XX, n° 9.

La résistivité du filament de la lampe que j'ai utilisée étant égale à 86,5 microhms-cm à sa température de fonctionnement normal ($\varphi = \frac{Rs}{l}$) et son facteur d'efficacité lumineuse à 18,5 lumen

par watt, valeurs qui se correspondent sur le tableau donné par ces auteurs (tableau I, 2^e partie, R. G. E., tome XX, n^o 9, page 307), on pourrait évaluer la température de couleur du filament à 2750° absolus (tableau I, 1^{re} partie). Toutefois le filament de la lampe utilisée fonctionnant dans une atmosphère de gaz inerte, il y a lieu de tenir compte des pertes dues à la présence du gaz. La température du filament est, de ce fait, plus élevée que ne l'indiquent les tableaux précités de FORSYTHE et WORTHING, établis pour des filaments fonctionnant dans le vide.

D'ailleurs, d'après les laboratoires de la SOCIÉTÉ PHILIPS, la température de couleur pour ces mêmes coefficients de résistivité et d'efficacité lumineuse correspondrait à des valeurs légèrement plus élevées que celles indiquées ci-dessus.

J'ai, pour plus de certitude, mesuré la température de brillance d'une lampe identique, à ampoule incolore, à l'aide du micro-pyromètre construit par M. RIBAUD, Professeur à la Faculté des Sciences de Paris.

Le mode opératoire est le suivant :

À l'aide du micro-pyromètre pourvu d'un écran *rouge* correspondant à la raie *H δ* de l'hydrogène (6 563 Angstrôm), on vise la portion de filament dont on veut connaître la température (dans cet appareil le filament est grossi par un système optique permettant de ne considérer qu'une très petite portion de la surface apparente du fil), et l'on met au point pour obtenir une image nette de ce filament, ainsi que celle du filament d'une lampe tare qui vient se superposer sur la première image.

Le filament de la lampe tare est constitué par un fil de tungstène en forme d'arc, dont l'extrémité seule sert d'élément de comparaison.

On fait varier le courant dans la lampe tare jusqu'à ce que l'on obtienne l'égalité de brillance, et on lit la valeur de l'intensité du courant.

On compare ensuite la lampe tare du micropyromètre avec une lampe étalon.

Les mesures ont été faites en quatre points du filament de la lampe, à ampoule incolore, utilisée pour les essais (*fig. 5*) :

1° Sur la tangente extérieure à l'une des spires du filament située dans la partie incurvée de l'U, à proximité de la jonction avec une des branches rectilignes (point 1) ;

2° Sur la tangente intérieure de la même spire (point 2) ;



Fig. 5. — Filament fortement grossi.

3° Sur la tangente extérieure à la spire située au milieu de l'une des branches rectilignes de l'U (spire la plus chaude de tout le filament, point 3) ;

4° Sur la tangente intérieure à la même spire (point 4).

J'ai relevé comme intensité de courant, pour chacun de ces points, les valeurs suivantes, en ampères :

$$I_1 = 0,327\ 3$$

$$I_2 = 0,344\ 7$$

$$I_3 = 0,335\ 8$$

$$I_4 = 0,349\ 1$$

Les mesures de comparaison m'ayant permis de donner aux intensités les correspondances suivantes :

0,349 8 A pour 2 720° K

et

0,329 8 A pour 2 572° K

j'ai, par interpolation (*fig. 6*), obtenu les valeurs :

$$t_1 = 2\,554^\circ \text{ K}$$

$$t_2 = 2\,683^\circ \text{ K (apparente)}$$

$$t_3 = 2\,617^\circ \text{ K}$$

$$t_4 = 2\,715^\circ \text{ K (apparente)}.$$

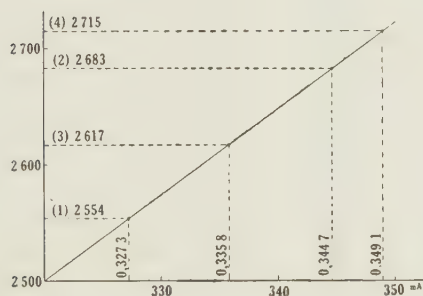


Fig. 6. — Détermination de la température du filament.

Pratiquement, on peut admettre, comme température de brillance moyenne du filament de la lampe servant aux essais, celle mesurée au point 1. Le point 3 étant situé dans la région la plus chaude du filament ne peut être pris en considération ; il en est de même pour les points situés au voisinage de la soudure sur les supports car ils correspondent à des températures nettement inférieures ; enfin les températures t_2 et t_4 sont certainement égales respectivement à t_1 et t_3 , mais les valeurs relevées sont apparemment influencées par la réflexion sur les spires intérieures. D'après le tableau de correspondance de FORSYTHE et WORTHING, il faudrait ainsi admettre que la température de couleur du filament est de 2 900° K, valeur déjà supérieure à celles que j'avais déduites des valeurs de la résistivité et du facteur d'efficacité lumineuse.

λ	E_λ	t	Λ	$E_\lambda \Lambda$	$E_\lambda \Lambda t$	R
4 000	14,78		0,0024	0,035		0,01
4 100	17,78		0,0032	0,056		0,01
4 200	21,06		0,0096	0,202		0,01
4 300	24,73		0,0180	0,445		0,01
4 400	28,77		0,029	0,86		0,00
4 500	33,15		0,041	1,36		0,00
4 600	37,86		0,058	2,19		0,00
4 700	42,9	0,0045	0,090	3,86	0,017	0,01
4 800	48,29	0,0125	0,138	6,65	0,081	0,02
4 900	53,92	0,0550	0,215	11,59	0,637	0,06
5 000	59,89	0,287	0,341	20,40	5,86	0,12
5 100	66,09	0,615	0,493	32,4	20,82	0,19
5 200	72,90	0,771	0,638	46,4	35,7	0,27
5 300	79,14	0,813	0,795	62,8	51,0	0,34
5 400	85,94	0,830	0,919	78,8	65,2	0,39
5 500	92,93	0,821	0,992	92,2	76,0	0,44
5 600	100	0,822	0,999	99,9	82,0	0,44
5 700	107,0	0,834	0,953	102,4	85,8	0,47
5 800	114,5	0,830	0,879	100,8	83,8	0,46
5 900	121,8	0,832	0,777	93,2	77,5	0,43
6 000	129,1	0,853	0,653	82,0	70,0	0,39
6 100	136,5	0,840	0,491	67,0	56,4	0,34
6 200	143,7	0,842	0,362	51,9	43,8	0,28
6 300	151,0	0,855	0,210	36,3	30,9	0,21
6 400	158,0	0,847	0,164	25,9	21,8	0,15
6 500	165,2	0,855	0,101	16,7	14,25	0,09
6 600	172,2	0,858	0,060	10,38	8,88	0,05
6 700	178,9	0,850	0,038	6,80	5,8	0,03
6 800	185,7	0,856	0,022	4,08	3,49	0,01
6 900	192,2	0,868	0,013	2,51	2,17	0,00
7 000	198,6	0,853	0,007	1,39	1,19	0,00
				1 061,458	843,095	

Facteur de transmission

Première méthode.

$$t = \frac{843,09}{1061,46} = 0,794$$

Deuxième méthode.

$$\begin{aligned}
 475,26 \times 0,568 &= 269,94 \\
 383,85 \times 0,426 &= 163,52 \\
 20,16 \times 0,006 &= 0,12 \\
 \hline
 &= 433,58 \\
 584,29 \times 0,568 &= 331,87 \\
 497,89 \times 0,426 &= 212,10 \\
 221,77 \times 0,006 &= 1,33 \\
 \hline
 &= 545,30 \\
 t &= \frac{433,58}{545,30} = 0,795
 \end{aligned}$$

$(E_\lambda \ R_1)$	$(R = R_T \ t)$	V_1	V_T	V	B_1	B_T	B
0,158					0,186	2,74	
0,288					0,319	5,67	
0,400					0,482	10,10	
0,366					0,743	18,3	
0,228		0,0048	0,138		0,929	26,7	
0,000		0,0174	0,576		0,944	31,2	
0,378		0,0380	1,44		0,867	32,8	
0,429	0,0019	0,0670	2,87	0,0129	0,705	30,2	0,135
1,065	0,0133	0,109	5,26	0,0657	0,461	22,2	0,277
3,31	0,182	0,165	8,9	0,489	0,233	12,5	0,687
7,34	2,17	0,244	14,6	4,19	0,123	7,36	2,11
3,1	8,34	0,346	22,8	14,7	0,0807	5,33	3,43
0,0	15,42	0,453	32,8	25,2	0,0534	3,87	2,98
6,9	22,0	0,525	41,5	33,7	0,0366	2,89	2,34
4,2	28,4	0,569	48,0	39,8	0,0285	2,44	2,02
0,9	33,7	0,577	53,6	44,1	0,0216	2,00	1,64
4,6	36,7	0,554	55,4	45,5	0,0167	1,67	1,375
0,2	41,8	0,494	52,9	44,1	0,0136	1,45	1,200
2,9	43,8	0,394	45,1	37,4	0,0105	1,20	0,996
3,2	44,3	0,287	34,9	29,0	0,0051	0,621	0,516
1,4	43,7	0,198	25,5	22,0	0,0024	0,309	0,263
7,5	39,8	0,133	18,1	15,20	0,0009	0,122	0,102
1,4	34,7	0,0923	13,2	11,10	0,0005	0,072	0,060
2,3	27,6	0,0555	8,38	7,16	0,0002	0,030	0,0256
4,2	20,5	0,0340	5,37	4,54			
5,8	13,50	0,0184	3,03	2,59			
0,0	8,58	0,0100	1,722	1,47			
6,13	5,25	0,0054	0,966	0,824			
2,73	2,34	0,0023	0,427	0,365			
1,84	1,59	0,0014	0,269	0,233			
1,03	0,88	0,0007	0,139	0,118			
4,297	475,2672		497,887	383,8576		221,774	20,1566

Rapport des couleurs

$$\frac{r}{r + v + b} = \frac{475,26}{475,26 + 383,85 + 20,16} = \frac{475,26}{879,27} = 0,541$$

$$\frac{v}{r + v + b} = \frac{383,85}{879,27} = \frac{383,85}{879,27} = 0,436$$

$$\frac{b}{r + v + b} = \frac{20,16}{879,27} = \frac{20,16}{879,27} = 0,023$$

J'ai donc adopté, pour la suite des calculs, la valeur de 2 850° K, comme température de couleur du filament de la lampe que j'ai utilisée pour mes expériences.

Dans le tableau III, j'ai reproduit, en fonction des différentes longueurs d'onde des radiations lumineuses :

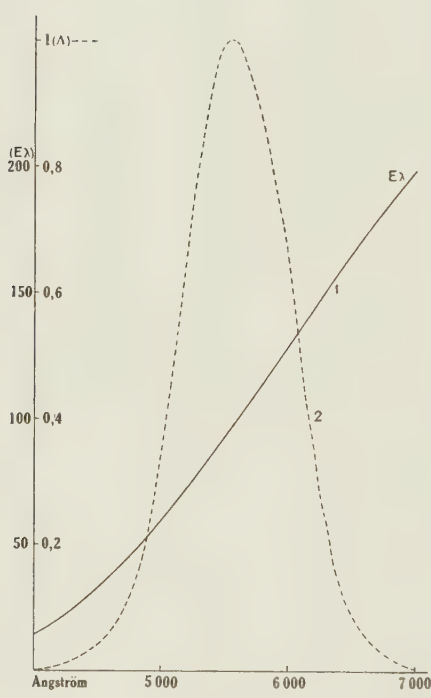


Fig. 7

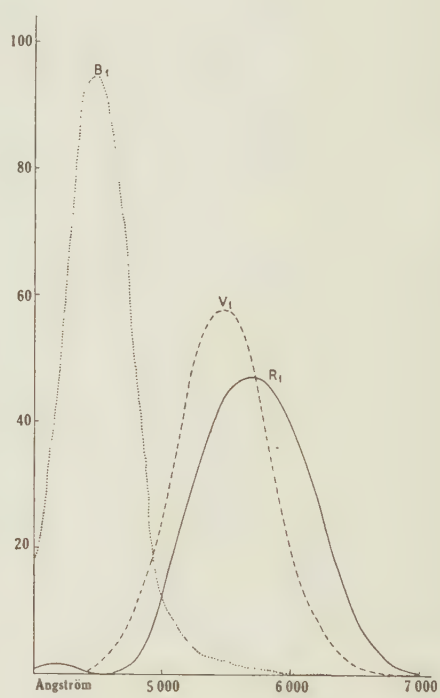


Fig. 8

1° Les valeurs du rayonnement E_λ du corps noir à 2 850° K (1) (fig. 7, courbe 1);

2° Les valeurs de la visibilité Λ pour les différentes radiations (2) (fig. 7, courbe 2);

3° Les valeurs R_1, V_1, B_1 , des sensations primaires rouge,

(1) D'après W. Dziobek et M. Pirani (Recueil des travaux et comptes rendus des séances : Commission Internationale de l'Eclairage, Saranac Inn, p. 824).
 (2) D'après H.-E. Ives (Journal of the Franklin Institute, année 1923, t. 195, p. 23).

verte et bleue produites par chacune des radiations, à énergie égale pour chacune d'elles (1) (*fig. 8*) ;

4° Les valeurs du facteur de transmission t du verre au sulfure de cadmium calculées plus haut (*fig. 2*) ;

5° De ces différentes courbes j'ai déduit, en me basant sur la méthode préconisée par H.-E. IVES (Journal of the Franklin Institute) les valeurs R_T, V_T, B_T , des sensations produites sur l'œil par le rayonnement du tungstène, la température de couleur étant de 2 850° K. Elles sont données par les produits $R_1 E_\lambda$, $V_1 E_\lambda$ et $B_1 E_\lambda$ (*fig. 9*) ;

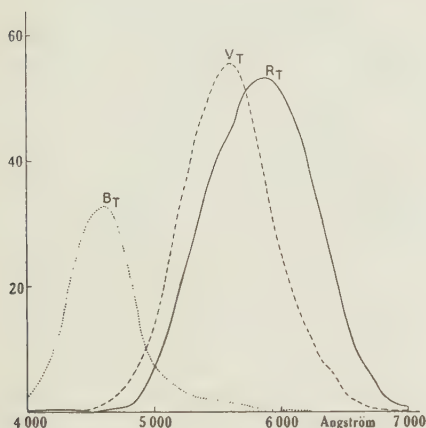


Fig. 9

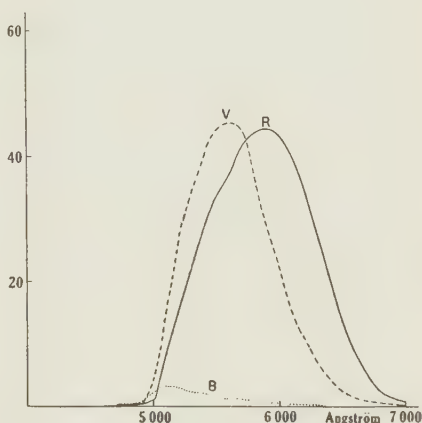


Fig. 10

6° J'ai également déduit les valeurs R, V, B des sensations produites sur l'œil par le rayonnement du tungstène filtré par le verre au sulfure de cadmium, la température de couleur du tungstène étant de 2 850° K (*fig. 10*).

Elles sont données par les produits $R_1 E_\lambda t$, $V_1 E_\lambda t$ et $B_1 E_\lambda t$.

Les valeurs numériques des trois sensations totales produites sur l'œil par le rayonnement de la lampe à ampoule jaune sont alors données par chacune des aires de ces trois courbes, rapportées à leur aire totale.

(1) D'après H.-E. Ives, utilisées par W. Dziobek et M. Pirani, *ib.*, p. 826.

Le rayonnement est défini par les trois rapports :

$$\frac{r}{r + v + b} = \frac{475,26}{475,26 + 383,85 + 20,16} = 0,541$$

$$\frac{v}{r + v + b} = \frac{383,85}{879,27} = 0,436$$

$$\frac{b}{r + v + b} = \frac{20,16}{879,27} = 0,023$$

La construction imaginée par MAXWELL, à l'aide d'un triangle équilatéral au sommet duquel on fait correspondre les trois sensations primaires, permet de déterminer la couleur du rayonnement de la lampe considérée. Une sensation complexe est représentée par un point M, centre de gravité de trois masses de valeurs r , v , b placées en chacun des trois sommets du triangle. Dans celui-ci, le centre 0 représente la lumière blanche (1); chaque radiation, étant par ailleurs définie par les trois valeurs des sensations qu'elle produit sur l'œil (tirées des courbes précédentes à égalité d'énergie), est représentée par un point et l'ensemble des radiations par une ligne continue (*fig. 11*).

Les trois rapports que j'ai obtenus définissent un point M_J , tel que la ligne OM_J coupe la courbe des radiations simples au point N_J correspondant à la longueur d'onde 5 825 Angström.

Le rayonnement de la lampe utilisée est donc comparable à celui que produirait une lumière monochromatique de cette longueur d'onde à laquelle on ajouterait de la lumière blanche dans le rapport $\frac{N_J M_J}{ON_J}$.

Le rapport $\frac{OM_J}{ON_J}$ est le facteur de pureté de la lumière. Je l'ai trouvé égal à 0,97.

(1) Lumière blanche absolue produite par le corps noir à 5 000° K et non la lumière, appelée « blanche » dans cette étude, produite par le tungstène à la température de couleur de 2 850° K.

De la même manière, il est possible de définir la lumière blanche émise par le tungstène à la température de couleur de 2 850° K.

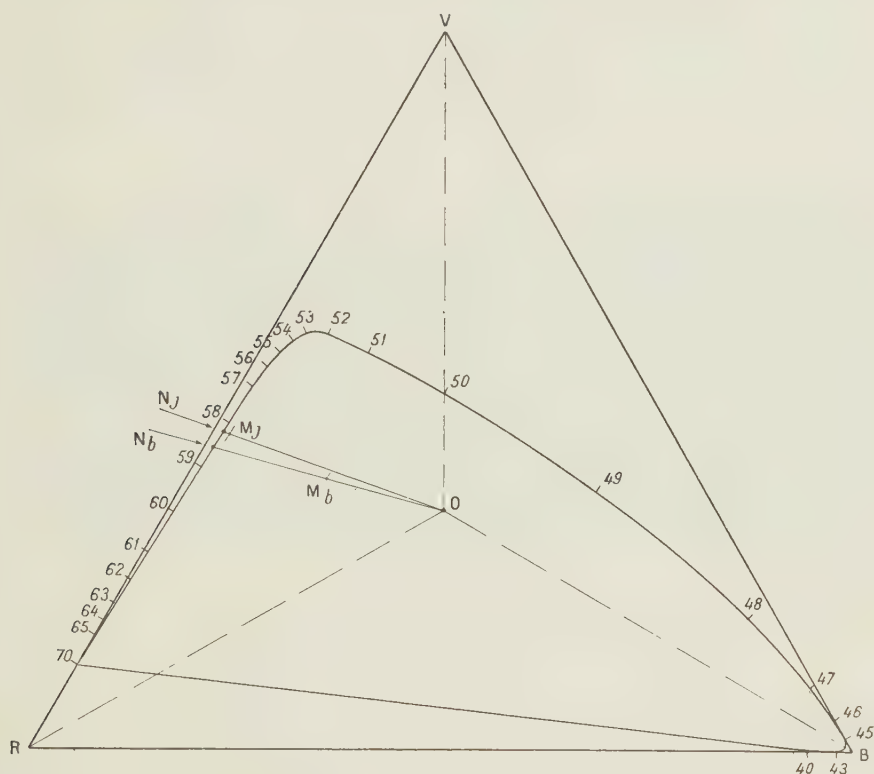


Fig. II. — Triangle de Maxwell.

Les valeurs numériques des trois sensations totales se déduisent du tableau I, colonnes R_T , V_T et B_T . On a :

$$\frac{r}{r + v + b} = \frac{584,29}{584,29 + 497,89 + 221,77} = 0,448$$

$$\frac{v}{r + v + b} = \frac{497,89}{1\ 303,95} = 0,382$$

$$\frac{b}{r + v + b} = \frac{221,77}{1\ 303,95} = 0,170$$

Ces trois rapports déterminent sur le triangle de MAXWELL un point M_B qui représente le rayonnement considéré. L'intersection de la droite OM_B avec la courbe des radiations monochromatiques, en un point N_B permet de caractériser la lumière blanche produite par le tungstène à 2 850° K par les deux facteurs suivants :

Longueur d'onde dominante : 5 860 Angström ; facteur de pureté : 0,51.

d) **Facteur de transmission totale.** — Me référant aux mêmes travaux de IVES, j'ai calculé le facteur de transmission totale. D'après cet auteur, deux méthodes peuvent être utilisées.

Tout d'abord, connaissant les trois sensations totales (rouge, verte et bleue) pour le rayonnement filtré, il suffit (1) de multiplier ces valeurs par les coefficients respectifs de 0,568 pour le rouge, 0,426 pour le vert et 0,006 pour le bleu, qui tiennent compte de la luminosité (2). La somme totale de ces trois sensations, rapportée à celle des trois sensations produites par le rayonnement filtré, donne la valeur du facteur total de transmission.

Rayonnement filtré :

Rouge	$475,26 \times 0,568 =$	269,94
Vert	$383,85 \times 0,426 =$	163,52
Bleu	$20,16 \times 0,006 =$	0,12
		433,58

Rayonnement non filtré :

Rouge	$584,29 \times 0,568 =$	331,87
Vert	$497,89 \times 0,426 =$	212,10
Bleu	$221,77 \times 0,006 =$	1,33
		545,30

$$\text{Facteur de transmission } t = \frac{433,58}{545,30} = 0,795$$

(1) H.-E. Ives. — *Journal of the Franklin Institute*, *ib.*

(2) Ces rapports définissent la valeur de la sensation lumineuse rouge, verte et bleue, d'après Ives. Ils représentent l'aire relative des trois courbes R, V, B obtenues en multipliant les ordonnées des sensations primaires R_i , V_i , B_i , produites pour chaque radiation à énergie égale, par la courbe de visibilité, appelée encore courbe de sensibilité de l'œil.

Toutefois, Ives remarque que, la courbe de luminosité étant mieux déterminée que les valeurs lumineuses des sensations, il est préférable de calculer le facteur total de transmission en rapportant l'aire de la courbe $E_{\lambda} \Lambda t$ du rayonnement filtré (produit du rayonnement filtré $E_{\lambda} t$ par la courbe de visibilité Λ) à l'aire de la courbe $E_{\lambda} \Lambda$ correspondant au rayonnement non filtré.

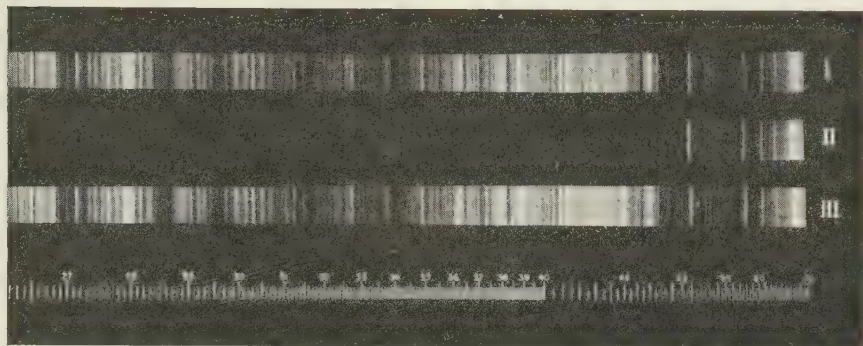


Fig. 12. — Spectre I, arc au fer.

Spectre II, le même filtré par un verre au sulfure de cadmium (jaune).

Spectre III, filtré par un verre à la magnésie (incolore).

En effet, si l'on connaît les valeurs $E_{\lambda} t$ et E_{λ} pour chaque longueur d'onde, et si Λ est la valeur de la visibilité, la transmission totale du verre s'obtient par le rapport des intégrales :

$$t = \frac{\int_{0,4}^{0,7} E_{\lambda} \Lambda t d \lambda}{\int_{0,4}^{0,7} E_{\lambda} \Lambda d \lambda}$$

J'ai représenté sur le tableau III les valeurs de $E_{\lambda} \Lambda t$ et $E_{\lambda} \Lambda$ ainsi que l'aire des courbes correspondantes.

Le facteur total de transmission t a donc pour valeur

$$t = \frac{843,09}{1\,061,46} = 0,794$$

valeur plus exacte que celle calculée par l'autre méthode.

Les lumières produites par des filaments de tungstène, dont la température de couleur est 2 850° K, montés, l'un dans une ampoule en verre au sulfure de cadmium, l'autre dans une ampoule incolore, sont donc définies par les caractéristiques suivantes :

	Lumière jaune —	Lumière blanche —
Sensation de rouge = $\frac{r}{r + v + b}$ =	0,541	0,448
Sensation de vert = $\frac{v}{r + v + b}$ =	0,436	0,382
Sensation de bleu = $\frac{b}{r + v + b}$ =	0,023	0,170
Longueur d'onde dominante.....	5 825 Å	5 860 Å
Facteur de pureté.....	0,97	0,51

La lumière, dont la composition a été modifiée par un « verre sélectif » (1) sera, par analogie, appelée dans le cours de cette étude « lumière sélectée » ayant, comme caractéristique particulière, celle d'être dépourvue totalement des radiations les plus réfrangibles du spectre, jusqu'à la radiation 4 700 Angström (*fig. 12*, spectre; *fig. 2*, courbe de transmission).

(1) Ch. Fabry. — Introduction générale à la Photométrie, page 167.

CHAPITRE III

POINTS EXAMINÉS ANTÉRIEUREMENT PAR DIVERS AUTEURS

La réalisation des verres jaunes au sulfure de cadmium et leur application à la fabrication des ampoules de lampes électriques destinées tant à l'éclairage des bureaux, des ateliers ou des routes qu'à l'éclairage des automobiles, a provoqué, dès l'apparition de ces nouvelles lampes (1933), un grand nombre d'études sur l'éblouissement et sur la visibilité. Nous citerons, notamment, les études faites par le Docteur FAILLIE en collaboration avec MM. ESCHER-DESRIVIÈRES, JONNARD et VIAL, les expériences entreprises par M. Yves LE GRAND et, enfin les expériences pratiques consécutives à une enquête entreprise par la revue *La Quinzaine Médicale*, auprès de ses lecteurs.

1^o NOTE DE MM. FAILLIE, ESCHER-DESRIVIÈRES, JONNARD ET VIAL (1).

Réactions psychomotrices visuelles en relation avec l'éblouissement produit par les projecteurs d'automobiles.

Les auteurs ont étudié la variation du temps de *réaction psychomotrice visuelle* d'un observateur soumis à l'action d'un projecteur éblouissant, une glace de couleur *jaune* étant interposée ou non entre les yeux de l'observateur et le test (2).

La mesure du temps de la réaction psychomotrice visuelle est effectuée à l'aide d'un chronoscope, composé essentiellement d'une aiguille, entraînée à vitesse rigoureusement constante, pouvant être mise en marche par un opérateur et arrêtée par le sujet soumis à l'expérience.

L'opérateur actionne l'aiguille à un moment déterminé, le sujet doit l'arrêter dès qu'il a en perçu le mouvement. L'intervalle de

(1) Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences. Séance du 25 septembre 1933.

(2) Ce temps de réaction est constant pour un même sujet et un éclairement déterminé du test.

temps écoulé entre le départ et l'arrêt de l'aiguille correspond à la durée de la réaction psychomotrice du sujet en observation.

Les auteurs ont constaté :

1° Que l'éblouissement produit par la lumière blanche augmente les temps de réaction de 20 % environ ;

2° Que la glace jaune exerce une protection efficace en ramenant très sensiblement les temps de réaction psychomotrice visuelle à leur valeur normale, mesurée quand l'observateur n'est pas soumis à l'action d'une source éblouissante.

2° NOTE DE MM. ESCHER-DESRIVIÈRES, FAILLIE ET JONNARD (1).

Réactions psychomotrices visuelles consécutives à une illumination intense de l'œil.

En étudiant les modifications apportées aux réactions psychomotrices visuelles par un éclaircissement intense de l'œil (6 200 lux sur la pupille), les auteurs ont constaté que lorsqu'il y a période de cécité passagère, le temps de cécité est notable pour chaque observateur en lumière blanche, et généralement nul en lumière jaune.

Ils ont constaté par ailleurs que, dans tous les cas, le temps de rétablissement de l'acuité normale reste sensiblement le même, mais que, pendant l'intervalle de temps qui succède à la cessation de la cause éblouissante, et qui varie suivant le sujet de 0 à 2 minutes, *les temps de réaction psychomotrice sont très irréguliers* en lumière blanche, assez réguliers en lumière jaune.

3° NOTE DE MM. FAILLIE, JONNARD ET VIAL.

Variation de la constriction pupillaire avec l'éclaircissement (2).

Les auteurs ont photographié la pupille de sujets soumis à des éblouissements en lumière blanche et en lumière jaune. Les observations qu'ils ont faites leur ont montré qu'à éclaircissement égal, la pupille est plus dilatée en lumière jaune qu'en lumière blanche. Ils en concluent, en admettant les idées de BROCA sur la relation entre la constriction pupillaire et la fatigue visuelle correspondante, que la lumière jaune est moins fatigante que la lumière blanche.

(1) Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences. Séance du 4 avril 1934.

(2) Comptes rendus de l'Académie des Sciences. Séance du 18 juin 1934.

4° NOTE DE M. YVES LE GRAND sur l'éblouissement en lumière jaune (1).

L'auteur considère deux plages contiguës de brillance voisine, B et $B + b$ que l'œil différencie à peine, et définit la sensibilité différentielle $s = \frac{B}{b}$. Pour chaque valeur de B , la valeur adoptée pour b est la plus faible qui soit discernée par un sujet avec un maximum de 25 % d'erreurs dans les évaluations.

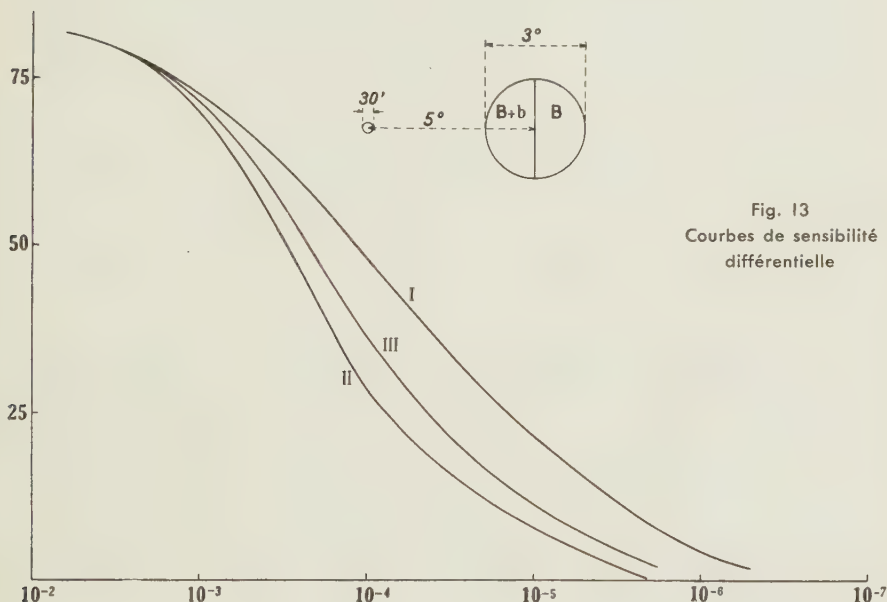


Fig. 13
Courbes de sensibilité
différentielle

Le sujet regardait pendant deux secondes un cercle de 3° c'e diamètre apparent, formé de deux plages contiguës en demicercle sans ligne de démarcation. En lumière blanche, sans la présence d'une source éblouissante, la sensation différentielle en fonction de B (de 10^{-7} à 10^{-2} b/cm²) donne une certaine courbe I (fig. 13).

En plaçant à 5° du centre du cercle lumineux une source éblouissante de 0,88 b/cm², vue sous le diamètre de 30 minutes, la courbe

(1) Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences. Séance du 12 mars 1934.

obtenue II se traduit par un abaissement de s . En interposant devant la source éblouissante un verre jaune présentant un facteur de transmission de 0,9 pour toute longueur d'onde supérieure à 5 500 Angström, et un facteur de transmission inférieur à 0,1 pour toute longueur d'onde inférieure à 5 000 Angström, l'auteur obtient une courbe III qui se traduit par un relèvement de s , ce qui prouve « l'efficacité du verre jaune ».

Toutefois, en interposant le verre jaune non seulement devant la source éblouissante, mais aussi devant la plage lumineuse, l'auteur obtient une nouvelle courbe qui se confond avec la courbe I, et conclut que « l'éblouissement et la visibilité des contrastes ont baissé dans la même proportion ».

Il résulterait de ces expériences que, « d'intérêt incontestable quand la route est éclairée en blanc, l'usage des sources lumineuses jaunes n'offre pas d'avantage quand la route est elle-même éclairée en jaune ».

Je me permettrai de faire, quant à ces expériences, les remarques suivantes :

La brillance de la source, dite éblouissante, vue sous un angle de 30', est à mon sens très nettement insuffisante. La brillance limite admise en France par les Pouvoirs publics pour les projecteurs d'automobiles dans le cas d'un éclairage réduit est, en effet, de 1,5 b/cm². Un projecteur ayant cette brillance, est donc pratiquement considéré comme un projecteur non éblouissant. Au contraire, la brillance d'un projecteur de plein éclairage, le seul dont il faille en fait se protéger, est de 800 à 1 000 b/cm². Dans ce cas, il y a destruction du pourpre rétinien et cécité totale pendant un certain temps.

La note de M. LE GRAND, qui ne tient pas compte des conditions de la pratique sur route, n'infirme donc pas les résultats des travaux du Docteur FAILLIE qui constatait, pour une telle brillance, une cécité totale par un éblouissement en lumière blanche, une cécité quasi nulle en lumière jaune.

Il y a lieu d'ajouter, pour être complet, que la conclusion de M. YVES LE GRAND, même dans les limites de ses expériences, ne saurait s'appliquer à la visibilité des contrastes mais seulement à la mesure de la *sensibilité différentielle* de l'œil.

5^o OBSERVATIONS RAPPORTÉES PAR DIVERS USAGERS (1).

Ces observations, qui ne revêtent aucun caractère scientifique, ont cependant le mérite d'avoir été faites à la suite de nombreuses expériences exécutées dans des conditions pratiques de circulation automobile, et à ce titre elles ne sont pas déplacées dans l'exposé impartial des travaux exécutés avant les présentes recherches. Les conditions de ces expériences ne peuvent être précises, puisqu'elles étaient laissées à l'appréciation des sujets ; les résultats ne peuvent donc être considérés en eux-mêmes, mais simplement comme une indication comparative des impressions visuelles ressenties par les conducteurs des véhicules au moment du croisement d'une voiture équipée de lampes à ampoule incolore, et d'une voiture équipée de lampes à ampoule jaune.

Tous ces observateurs, parmi lesquels un très grand nombre de médecins, ont affirmé que l'éblouissement et la période de réadaptation sont moindres en lumière sélectionnée qu'en lumière blanche.

* * *

Ainsi donc ces études entreprises sur l'éblouissement démontrent que l'utilisation d'une lumière jaune diminue considérablement les effets de l'éblouissement.

L'analyse de la constitution de l'œil humain permettait, *a priori*, de pressentir cette influence de la lumière jaune.

En effet, les impressions visuelles dépendent de l'excitation d'éléments récepteurs de deux types : les cônes et les bâtonnets, qui réagissent différemment suivant qu'ils sont excités par telle ou telle radiation du spectre.

On sait que la rétine, organe sensible à la lumière, est composée de plusieurs parties :

a) La partie centrale ou macula, au centre de laquelle se trouve la fovea, région la plus sensible de la macula ;

b) La partie périphérique ou périmacula.

Dans la fovea ne se rencontrent que des cônes qui, en raison de ce qu'ils sont reliés chacun à une fibre nerveuse distincte et ténue, assurent principalement la discrimination des formes et la vision des couleurs.

(1) Quinzaine Médicale de décembre 1933 et mai 1934.

La périmacula est surtout composée de bâtonnets, qui paraissent assurer l'appréciation de l'intensité aux faibles éclairéments.

Dans la macula, entre la fovea et la périmacula, se rencontre un mélange de cônes et de bâtonnets, de plus en plus riche en bâtonnets à mesure qu'on s'éloigne de la fovea.

Au contraire, à mesure que l'on se rapproche de l'axe visuel, les bâtonnets disparaissent et les cônes deviennent de plus en plus nombreux.

Les cônes sont sensibles aux radiations de grande longueur d'onde; les bâtonnets, au contraire, le sont aux radiations de courte longueur d'onde, et sont pratiquement aveugles pour les radiations rouges.

Après éblouissement par une source lumineuse intense, la réadaptation à la vision normale est très différente, suivant qu'il s'agit des cônes ou des bâtonnets (1) : ces derniers subissent une altération chimique profonde et deviennent presque insensibles à la perception; leur sensibilité peut être réduite au 1/10 000 de leur sensibilité normale, mais après cessation de la cause éblouissante et séjour dans l'obscurité, ils récupèrent progressivement, d'abord très vite, puis de plus en plus lentement, leur sensibilité normale; au contraire, les cônes ont leur sensibilité réduite au 1/10 et, après un temps relativement court, leur sensibilité à la perception normale se trouve récupérée.

Afin d'éviter les effets de l'éblouissement, il y a donc intérêt à soustraire les bâtonnets aux éclairéments trop violents en radiations auxquelles ils sont sensibles, c'est-à-dire celles de courte longueur d'onde.

L'étude des réactions photochimiques permet d'aboutir à la même conclusion.

Dans l'obscurité, les segments externes des bâtonnets sont très chargés d'une matière rouge, appelée pourpre rétinien (2), qui devient jaune lorsque l'œil est soumis à l'influence d'une lumière vive.

(1) Comptes rendus de la cinquième réunion de l'Institut d'Optique, 8 mai 1931. Communication de M. H. Pieron.

(2) Impressions lumineuses sur la rétine, par M. Charpentier. Traité de Physique Biologique, t. II, p. 811, 1903.

Ce pourpre rétinien ne peut se reconstituer qu'après la disparition de la cause d'éblouissement, grâce probablement à l'afflux de sang qui se produit.

D'après certains auteurs (1), la courbe du pouvoir d'absorption du pourpre rétinien présente un maximum pour les radiations de longueur d'onde voisine de 5 600 Angström ; celle du jaune rétinien, sensiblement peu différente de la précédente pour les radiations de grande longueur d'onde, indique, au contraire, un pouvoir d'absorption presque nul pour les radiations bleues et violettes.

Ceci montre que, après un éblouissement prolongé, le pourpre rétinien s'étant transformé en jaune rétinien, l'œil n'enregistre plus aucune radiation de courte longueur d'onde, en d'autres termes se met en garde contre les radiations qui ont causé son éblouissement.

Les expériences pratiques que je viens d'analyser sommairement confirmant les opinions classiques admises, il semble bien qu'une nouvelle étude sur l'éblouissement eût perdu de son originalité. J'ai donc préféré aborder, d'une façon aussi minutieuse que possible, la question de la visibilité.

On peut affirmer que la visibilité, et plus particulièrement l'acuité visuelle, est une fonction physiologique de la fovea. Le Docteur Emile HAAS a pu démontrer, en effet, que le scotôme « en forme de point ou de ligne mince » consécutif à un éblouissement rétinien laisse intactes les fonctions des portions voisines de la rétine (2).

La fovea, pourvue de cônes, très sensibles aux radiations de grande longueur d'onde, étant ainsi la seule partie de l'œil intéressée à la visibilité des objets, doit percevoir plus facilement ceux-ci lorsqu'ils sont éclairés par une lumière riche en radiations jaunes et rouges.

Dans la présente étude, qui a pour domaine la visibilité en général, j'ai considéré d'abord l'acuité visuelle, ou « minimum separable », la perception des contrastes, la réadaptation à la vision aux faibles éclairéments après adaptation à des éclairéments intenses, enfin les modifications de la visibilité résultant d'un effort prolongé de vision (fatigue oculaire).

(1) M. Couvreur. — Cours d'Optique Physiologique de l'Ecole Supérieure d'Electricité.

(2) Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences. Séance du 23 mai 1933.

CHAPITRE IV

EXPÉRIENCES ET ÉNONCÉ DES RÉSULTATS

A. ACUITÉ VISUELLE

L'acte essentiel de la vision, disait en substance le Docteur W.-TH. KLEIN dans sa thèse (1), consistant à distinguer la lumière de l'obscurité, le détail des objets sera indiqué par la nature et la direction des rayons lumineux, et par leur différence d'intensité. La perception de tous les points lumineux qui forment l'objet et la distinction de leur clarté procurent alors l'image nette de l'objet.

Toutefois, deux images séparées de deux points très rapprochés peuvent donner une impression unique et floue.

La faculté de percevoir deux points séparés a reçu le nom d'*acuité visuelle*. Cette faculté de distinguer deux points l'un de l'autre peut être modifiée et par la couleur de ces points, ainsi que cela résulte des expériences de LANGLEY (2), et par la différence de leur intensité lumineuse.

Il est en effet connu qu'il est d'autant plus difficile d'identifier les objets que l'éclairage est faible. Ceci semble dû au phénomène suivant : un point ne pouvant affecter simultanément deux éléments rétinien, il est nécessaire, pour que deux points puissent être distingués, que leur intervalle occupe un élément rétinien complet et que les images de ces points affectent deux éléments rétiniens *autres* que celui sur lequel se forme l'image de cet intervalle ; mais, pour être perçus, il faut en outre que la différence entre l'impression reçue par l'élément intermédiaire et celle

(1) De l'influence de l'éclairage sur l'acuité visuelle. Thèse présentée à la Faculté de Médecine de Paris, 1872.

(2) Mesure et utilisation de la lumière, par A. Broca. Traité de Physique Biologique, 1903, p. 125. Langley a montré que le minimum d'énergie nécessaire pour mettre en jeu l'acuité visuelle est infiniment moins élevé dans le vert que dans les autres couleurs.

reçue par les deux éléments qui le touchent de part et d'autre soit assez prononcée.

Dans le cas de deux objets, il y a lieu de tenir compte de ce fait que si l'image de l'intervalle de ces objets, n'occupe qu'une portion de l'élément rétinien intermédiaire, cette image produit une sensation plus faible que celle qui résulterait d'une image occupant entièrement l'élément ; cette sensation sera sensiblement réduite dans le rapport de la surface couverte par l'intervalle à la surface de l'élément entier (fig. 14).

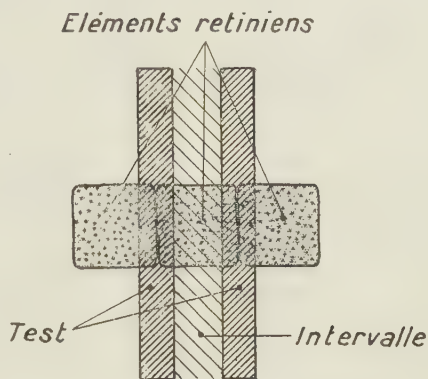


Fig. 14

Cette remarque s'applique également aux images des deux objets lorsqu'elles ne recouvrent qu'une portion de surface des deux éléments contigus.

Pour qu'il y ait perception, il importe donc que la différence de brillance existant entre chacun des objets et l'intervalle qui les sépare soit assez nette, afin que les contrastes soient encore perceptibles, en dépit de l'affaiblissement ainsi provoqué.

Il y a donc lieu de préciser, dans toute mesure d'acuité visuelle, la valeur de l'éclairement du test.

a) **Mesure de l'acuité visuelle.**

GIRAUD TEULON et SNELLEN ont construit presque en même temps (1862) des échelles pour mesurer l'acuité visuelle (1) ; ces deux échelles ont comme unité de base l'angle visuel limite d'une minute. La plupart des observateurs ont, en effet, trouvé comme angle visuel minimum d'un œil ordinaire, un intervalle de 60'' entre deux points lumineux.

L'échelle de SNELLEN est représentée par des lettres majuscules isolées qui sous-tendent un arc de 5'. Ces lettres sont inscrites

(1) Acuité visuelle, par Sulzer (Traité de Physique Biologique, 1903).

dans un carré dont les côtés sont divisés en cinq parties égales par des lignes perpendiculaires aux côtés et équidistantes. Le carré principal est ainsi divisé en vingt-cinq carrés égaux, dont les côtés mesurent un cinquième du côté du carré principal. La lettre est composée par ces carrés blancs et noirs. Pour la distinguer, l'œil doit pouvoir discriminer les carrés blancs des carrés noirs. Quand la lettre est placée à une distance de l'œil telle que le carré principal soit vu sous un angle de $5'$, les carrés divisionnaires, éléments constitutifs de la forme à distinguer, sont vus sous un angle de $1'$. Les échelles sont composées d'une série de lettres de différentes grandeurs, construites selon le principe qui vient d'être exposé. Chaque grandeur de lettre est surmontée d'un chiffre qui indique la distance en mètres, à laquelle la lettre entière est vue sous un angle de 5 minutes.

Afin d'éviter la cause d'erreur provenant de la déviation possible des lettres par l'opérateur, j'ai préféré utiliser l'échelle de SULZER (*fig. 15*).

Cet optotype est formé d'une série de cercles de différents diamètres, disposés sur un tableau entièrement blanc, et dans chacun desquels se trouvent des bandes *noires* parallèles, de largeur donnée, séparées par des intervalles *blancs* de même largeur et calculés suivant les principes exposés ci-dessus.

La largeur des bandes est de 1,5 mm pour le test vu à 5 m, de 3 mm pour celui vu à 10 m, de 6 mm pour celui vu à 20 m, de 7,5 mm pour celui vu à 25 m et de 15 mm pour celui vu à 50 m.

La faculté de distinguer les bandes, les unes des autres dépend uniquement de l'état de l'œil et il est facile de se convaincre qu'elle est l'expression fidèle de son rendement.

Par ailleurs, la conception même de ces échelles permet de corriger l'astigmatisme.

Il existe, en effet, des yeux pour lesquels les conditions de centrage et de symétrie de courbure ne sont réalisées ni rigoureusement, ni même avec une approximation suffisante. Le faisceau de rayons réfractés n'est plus alors homocentrique; l'œil est dit astigmat. L'image d'un objet tel que celui de la



ECHELLE MURALE DU DOCTEUR SULZER
construite selon les principes de Graud Toulon Stellen Monover

Fig. 15. — Test utilisé pour la mesure de l'acuité visuelle.

figure 16 c aura, dans ce cas, l'aspect représenté en A ou en B, suivant que chaque point formé sur la rétine sera remplacé par une droite horizontale ou verticale (1).

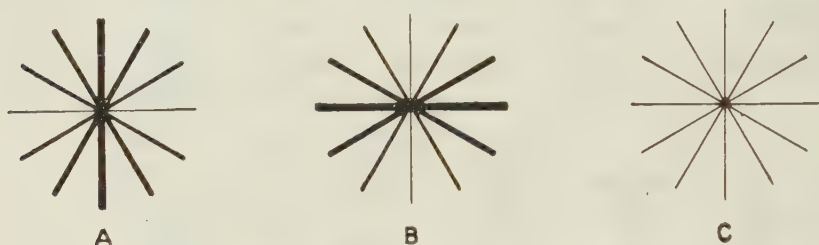


Fig. 16. — Test montrant les différences d'astigmatisme.

Dans les échelles de SULZER, chaque rangée contient des cercles dans lesquels les bandes sont verticales, horizontales ou obliques avec des inclinaisons différentes.

Suivant l'astigmatisme du sujet, certains cercles sont perçus plus nettement que d'autres, mais il est alors facile de mesurer l'acuité sur les bandes les plus perceptibles, ou inversement. J'ai choisi comme référence de discrimination, pour déterminer le minimum separabile, les bandes que chaque sujet avait le plus de difficulté à voir. Donc, après perception de celles-ci, l'on peut admettre que la capacité visuelle du sujet est totale.

1^o Méthode à distance variable. — Si d est la distance à laquelle on distingue encore les bandes les moins perçues de différents cercles, et D la distance à laquelle ces derniers se présentent sous un angle de $5'$ (inscrite sur l'optotype), l'acuité visuelle est $\nu = \frac{d}{D}$.

2^o Méthode à distance fixe. — Les oculistes qui emploient l'échelle de SNELLEN ont coutume de placer le sujet à une distance de 5 mètres et de se référer à la ligne lue à cette distance. Dans ce cas, l'acuité est donnée par $\nu = \frac{D'}{5}$, D' étant la distance à laquelle cette ligne est lue pour l'acuité 1.

La détermination de la variation de l'acuité en lumière blanche et en lumière colorée étant le but recherché, j'ai préféré appliquer la première des méthodes pour les échelles de SULZER correspon-

(1) Astigmatisme, par Imbert (Traité de Physique Biologique).

nant respectivement à une acuité unité aux distances de 5 m, 10 m et 20 m.

J'ai pu ainsi déterminer l'augmentation relative de l'acuité pour la perception d'obstacles situés par exemple devant un véhicule à des distances variables.

L'intensité de l'éclairement du test étant un facteur important, j'ai, pour chaque sujet considéré, mesuré l'acuité visuelle en fonction d'éclairéments variant de 0,02 lux à 300 lux.

J'ai soumis à mes expériences dix sujets du sexe masculin, conducteurs d'automobiles, suffisamment avertis des questions scientifiques pour que je puisse avoir la plus entière confiance dans les résultats obtenus.

Les conditions d'expériences étaient les suivantes.

Un projecteur d'automobile à miroir parabolique, placé en A, éclairait normalement le test de SULZER, monté sur un chariot mobile T (fig. 17).

Après un séjour dans l'obscurité pour permettre une accommodation suffisante, le sujet était placé en un point fixe O. Le chariot étant primitivement éloigné, puis rapproché lentement, le sujet le faisait arrêter à la distance limite de discrimination du cercle le plus difficilement perceptible de la ligne considérée.

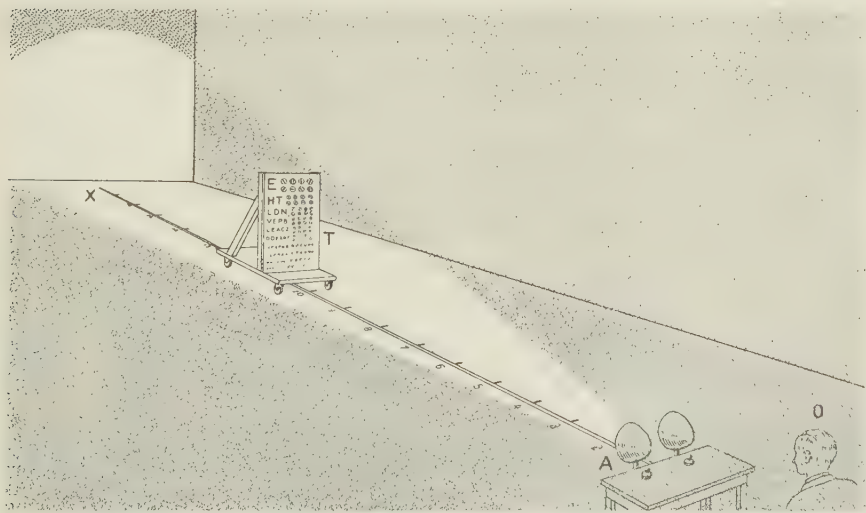


Fig. 17. — Essais d'acuité à l'aide de l'échelle de Sulzer.

En vue de la détermination de l'acuité correspondant à un éclairage considéré, j'ai effectué trois mesures qui ont donné des acuités voisines v_1, v_2, v_3 , pour des distances AT_1, AT_2, AT_3 , elles-mêmes sensiblement égales. Les moyennes arithmétiques ont permis, connaissant les valeurs des éclairages correspondants de tracer la courbe $v = f(e)$ pour les tests 5 m, 10 m, et 20 m. La valeur des éclairages se déduisait d'une courbe tracée préalablement en lumière blanche et en lumière sélectionnée.

La longueur du couloir d'essais (30 m) permettait des variations d'éclairage des tests de 30 lux (à 30 m) à 1 600 lux (à 4 m).

Afin d'obtenir des éclairages beaucoup plus faibles, j'ai utilisé trois écrans absorbants en verre dépoli au sable dont les facteurs de transmission, constants pour toutes les longueurs

d'onde, étaient respectivement $\frac{1}{20}, \frac{1}{240}, \frac{1}{3\,400}$.

Le tableau IV résume les valeurs relevées au cours de la première expérience.

TABLEAU IV
PREMIÈRE EXPÉRIENCE : Lumière blanche.

Sujet A

Distance de lecture correspondant à l'acuité unité : D = 20 mètres

Ecran absorbant	Eclairage (lux)		Distance de lecture d		Acuité moyenne $\frac{d}{D}$
	Valeurs relevées	Valeurs moyennes	Distances relevées	Distances moyennes	
3	0,019	0,020	2,18	2,21	0,110
	0,020		2,15		
	0,021		2,30		
3	0,104	0,105	4,65	4,65	0,232
	0,107		4,65		
	0,105		4,65		
2	0,363	0,364	6,1	6,15	0,307
	0,364		5,95		
	0,365		6,5		
1	3,75	3,7	10,1	10,20	0,510
	3,75		10,25		
	3,6		10,35		
1	6,2	6,2	12,85	12,84	0,641
	6,2		12,85		
	6,2		12,80		
sans écran	29,8	30	19	18,90	0,945
	30,1		18,85		
	30,1		18,90		
sans écran	50,6	50	19,90	19,92	0,996
	50,1		20		
	49,2		19,87		

Tous les résultats se rapportent à la vision *binoculaire*, objet de l'étude entreprise.

Les éclairements mesurés en lux ont été relevés à l'aide du luxmètre WAGUET (1).

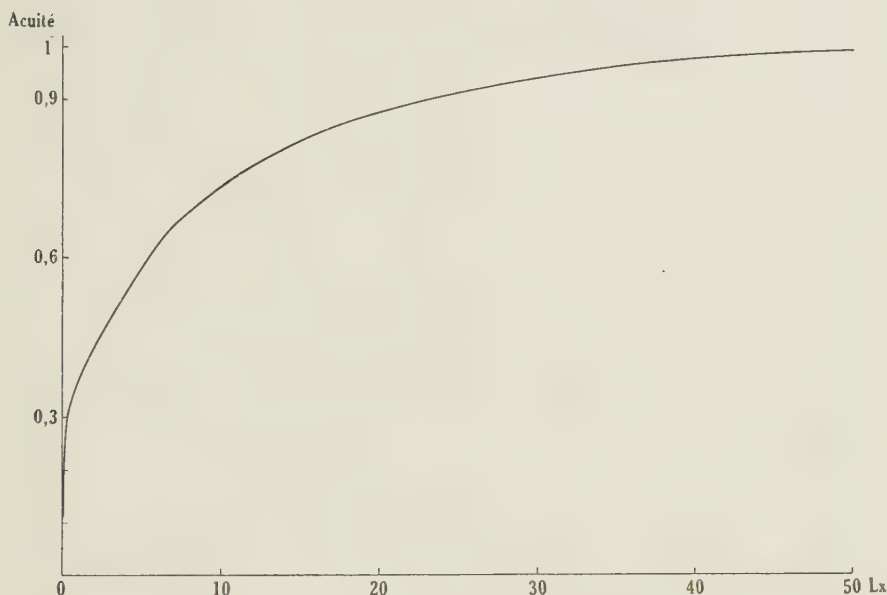


Fig. 18. — Courbe de l'acuité en fonction de l'éclairement.

Pour faciliter la lecture des résultats obtenus sur les dix sujets, j'ai seulement mentionné dans les tableaux suivants les valeurs moyennes d'acuité et d'éclairéments.

En traçant, par exemple, la courbe $v = f(e)$ (fig. 18), pour le sujet A, on voit que l'acuité visuelle n'augmente pas proportionnellement à l'éclairement quelle que soit la lumière utilisée. On

(1) Afin d'éviter les erreurs dues à la photométrie hétérochrome, j'avais placé devant la lampe du luxmètre Waguet, à température de couleur de 2 360° K, un verre plan au sulfure de cadmium dont on avait déterminé le facteur de transmission, d'une manière analogue à celle indiquée ci-dessus, et qui permettait d'obtenir l'égalité de couleur des plages photométriques.

constate aux faibles éclairéments un accroissement très rapide de l'acuité, accroissement qui devient ensuite plus lent, pour finalement ne plus varier que très légèrement, en dépit d'une augmentation importante de l'éclairément.

Afin de mieux examiner la variation de cette acuité, j'ai préféré utiliser, pour la suite de la discussion, une graduation logarithmique pour les éclairéments. Le dépliant I annexé à la fin de l'ouvrage (sujets A à J) représente graphiquement les résultats des tableaux V à X.

Il est intéressant de remarquer que la nature de la lumière n'a, en aucun cas, modifié l'astigmatisme des sujets.

TABLEAU V

PREMIÈRE EXPÉRIENCE : Lumière blanche.

Test pour l'acuité unité à la distance de 20 mètres.

<i>Sujet A</i> (28 ans)	Eclair. Acuité	0.020 0.110	0.105 0.232	0.364 0.307	3.70 0.510	6.2 0.642	30 0.945	50 0.996	
<i>Sujet B</i> (41 ans)	Eclair. Acuité	0.025 0.14	0.059 0.215	0.285 0.35	0.65 0.377	4 0.485	5.2 0.525	30 0.68	92 0.737
<i>Sujet C</i> (32 ans)	Eclair. Acuité	0.019 0.114	0.153 0.178	0.375 0.246	3.8 0.453	8.9 0.545	44 0.661	116 0.66	
<i>Sujet D</i> (33 ans)	Eclair. Acuité	0.019 0.09	0.054 0.195	0.275 0.337	0.86 0.487	2.90 0.605	6.00 0.637	32 0.87	52 0.94
<i>Sujet E</i> (58 ans)	Eclair. Acuité	0.021 0.130	0.165 0.178	0.44 0.233	4.7 0.425	10 0.525	42 0.707	80 0.781	
<i>Sujet F</i> (31 ans)	Eclair. Acuité	0.022 0.110	0.051 0.152	0.275 0.320	0.85 0.435	2.8 0.57	46 0.875	58 0.925	
<i>Sujet G</i> (41 ans)	Eclair. Acuité	0.021 0.080	0.147 0.182	0.416 0.257	3.70 0.463	8.90 0.545	32 0.707	72 0.823	
<i>Sujet H</i> (34 ans)	Eclair. Acuité	0.022 0.140	0.06 0.251	0.38 0.430	0.82 0.512	1.80 0.713	4.90 0.701	25 1.00	48 1.01
<i>Sujet I</i> (47 ans)	Eclair. Acuité	0.021 0.115	0.0485 0.162	0.284 0.30	4.40 0.60	3.20 0.537	30 0.80	58 0.87	
<i>Sujet J</i> (26 ans)	Eclair. Acuité	0.031 0.13	0.11 0.25	0.39 0.43	1.2 0.52	5.1 0.625	12 0.71	40.5 0.77	100 0.850

TABLEAU VI

DEUXIÈME EXPÉRIENCE : Lumière jaune.

Test pour l'acuité unité à la distance de 20 mètres.

<i>Sujet A</i>	Eclair.	0.02	0.0825	0.275	0.483	2.9	4.6	30	46
	Acuité	0.13	0.262	0.384	0.44	0.639	0.72	1	1
<i>Sujet B</i>	Eclair.	0.0215	0.0585	0.304	0.85	3.65	7.7	48	87
	Acuité	0.101	0.190	0.317	0.395	0.497	0.56	0.705	0.727
<i>Sujet C</i>	Eclair.	0.021	0.100	0.374	0.875	4.4	8.6	56	80
	Acuité	0.105	0.200	0.275	0.324	0.479	0.535	0.71	0.77
<i>Sujet D</i>	Eclair.	0.022	0.045	0.275	1	2.75	5.8	44	58
	Acuité	0.125	0.175	0.322	0.45	0.525	0.65	0.86	0.90
<i>Sujet E</i>	Eclair.	0.022	0.141	0.44	0.96	4.6	9	58	78
	Acuité	0.078	0.170	0.222	0.287	0.475	0.531	0.703	0.778
<i>Sujet F</i>	Eclair.	0.023	0.056	0.254	0.685	3.2	5.6	28	50
	Acuité	0.115	0.212	0.325	0.455	0.605	0.70	0.85	0.965
<i>Sujet G</i>	Eclair.	0.021	0.10	0.36	0.68	3.7	5.7	43	
	Acuité	0.1	0.219	0.282	0.357	0.541	0.600	0.835	
<i>Sujet H</i>	Eclair.	0.024	0.058	0.33	0.76	1.40	3.65	28	41
	Acuité	0.14	0.24	0.43	0.52	0.61	0.77	1.02	1.05
<i>Sujet I</i>	Eclair.	0.0235	0.061	0.282	0.765	4.10	6.30	31	54
	Acuité	0.12	0.187	0.275	0.427	0.545	0.625	0.837	0.925
<i>Sujet J</i>	Eclair.	0.024	0.074	0.27	0.70	5.50	14.2	43	
	Acuité	0.12	0.25	0.40	0.525	0.70	0.80	0.85	

TABLEAU VII

TROISIÈME EXPÉRIENCE : Lumière blanche.

Test pour l'acuité unité à la distance de 10 mètres.

<i>Sujet A</i>	Eclair.	0.019	0.081	0.243	0.85	3.6	9.5	116	
	Acuité	0.143	0.283	0.438	0.601	0.805	0.951	1.319	
<i>Sujet B</i>	Eclair.	0.022	0.051	0.325	0.725	4.1	8.7	30	296
	Acuité	0.140	0.200	0.321	0.422	0.485	0.60	0.70	0.84
<i>Sujet C</i>	Eclair.	0.03	0.17	0.372	4.4	10.5	46	92	340
	Acuité	0.142	0.229	0.286	0.505	0.595	0.721	0.769	0.806
<i>Sujet D</i>	Eclair.	0.0195	0.07	0.265	0.65	2.9	17	52	126
	Acuité	0.169	0.301	0.444	0.538	0.701	0.95	1.09	1.25
<i>Sujet E</i>	Eclair.	0.021	0.129	0.338	1.065	5	44	220	
	Acuité	0.048	0.131	0.253	0.37	0.61	0.754	0.96	
<i>Sujet F</i>	Eclair.	0.026	0.056	0.275	0.825	3.60	8.60	29	76
	Acuité	0.140	0.251	0.413	0.531	0.675	0.805	1.125	1.12
<i>Sujet G</i>	Eclair.	0.020	0.150	0.345	4.10	11.6	40	114	286
	Acuité	0.088	0.27	0.336	0.57	0.72	0.81	0.89	1
<i>Sujet H</i>	Eclair.	0.029	0.06	0.41	0.95	5.10	10.20	68	132
	Acuité	0.20	0.26	0.51	0.65	0.81	0.94	1.13	1.25
<i>Sujet I</i>	Eclair.	0.0235	0.056	0.29	1.34	3.60	9	30	82
	Acuité	0.13	0.225	0.36	0.53	0.66	0.78	0.96	1.05
<i>Sujet J</i>	Eclair.	0.028	0.08	0.42	1.05	5	12	41	120
	Acuité	0.15	0.30	0.47	0.60	0.77	0.82	0.98	1.04

TABLEAU VIII

QUATRIÈME EXPÉRIENCE : Lumière jaune.

Test pour l'acuité unité à la distance de 10 mètres.

<i>Sujet A</i>	Eclair.	0.019	0.065	0.275	0.8	3.6	9	30	94	
	Acuité	0.177	0.316	0.485	0.622	0.91	1.04	1.25	1.405	
<i>Sujet B</i>	Eclair.	0.024	0.058	0.300	0.765	3.4	8.1	30	87	
	Acuité	0.150	0.215	0.320	0.375	0.56	0.66	0.76	0.785	
<i>Sujet C</i>	Eclair.	0.025	0.079	0.34	1.23	6.5	18	47	246	
	Acuité	0.140	0.201	0.317	0.422	0.615	0.705	0.802	0.885	
<i>Sujet D</i>	Eclair.	0.019	0.071	0.282	0.9	4.6	13	36	134	
	Acuité	0.181	0.28	0.425	0.522	0.70	0.84	1.03	1.22	
<i>Sujet E</i>	Eclair.	0.026	0.095	0.274	0.85	4.1	10.2	46	200	
	Acuité	0.043	0.151	0.266	0.375	0.513	0.587	0.809	0.987	
<i>Sujet F</i>	Eclair.	0.019	0.062	0.334	0.74	3.30	7.60	26	50	118
	Acuité	0.151	0.260	0.410	0.575	0.775	0.85	1.1	1.2	1.28
<i>Sujet G</i>	Eclair.	0.023	0.12	0.265	0.71	2.40	13	42	122	300
	Acuité	0.125	0.226	0.317	0.432	0.557	0.73	0.88	1.00	1.08
<i>Sujet H</i>	Eclair.	0.024	0.058	0.31	0.88	3.75	9.30	46	112	
	Acuité	0.18	0.30	0.53	0.75	0.89	1.04	1.21	1.32	
<i>Sujet I</i>	Eclair.	0.020	0.066	0.30	0.70	3.50	8.30	29	51	142
	Acuité	0.135	0.23	0.41	0.54	0.73	0.805	0.975	1.11	1.18
<i>Sujet J</i>	Eclair.	0.025	0.072	0.28	0.62	5.60	15.2	42	122	
	Acuité	0.18	0.32	0.49	0.60	0.83	0.95	1	1.1	

TABLEAU IX

CINQUIÈME EXPÉRIENCE : Lumière blanche.

Test pour l'acuité unité à la distance de 5 mètres.

<i>Sujet A</i>	Eclair.	0.020	0.118	0.363	1	4.1	9	45	242	400
	Acuité	0.17	0.354	0.534	0.634	0.854	0.956	1.176	1.44	1.52
<i>Sujet B</i>	Eclair.	0.022	0.06	0.316	0.85	3.8	10.2	40	204	
	Acuité	0.140	0.216	0.330	0.4	0.57	0.71	0.68	0.81	
<i>Sujet C</i>	Eclair.	0.02	0.17	0.37	4.84	10.5	48	90	300	
	Acuité	0.12	0.23	0.286	0.51	0.57	0.72	0.75	0.82	
<i>Sujet D</i>	Eclair.	0.022	0.095	0.335	1.5	10.3	66	150		
	Acuité	0.16	0.34	0.45	0.68	0.94	1.16	1.32		
<i>Sujet E</i>	Eclair.	0.021	0.142	0.396	1.05	4.6	11.1	52		
	Acuité	0.078	0.18	0.28	0.40	0.60	0.72	0.903		
<i>Sujet F</i>	Eclair.	0.023	0.077	0.285	0.85	3.9	10.2	34	104	
	Acuité	0.16	0.24	0.42	0.61	0.76	0.95	1.12	1.38	
<i>Sujet G</i>	Eclair.	0.028	0.165	0.355	4.10	9.00	11	40	114	226
	Acuité	0.138	0.29	0.40	0.683	0.76	0.82	0.94	1.05	1.22
<i>Sujet H</i>	Eclair.	0.026	0.062	0.365	0.85	4.30	10.2	38	85	400
	Acuité	0.23	0.35	0.56	0.71	0.93	1.06	1.26	1.36	1.5
<i>Sujet I</i>	Eclair.	0.022	0.06	0.288	0.875	4.05	10.90	32	110	
	Acuité	0.14	0.22	0.39	0.58	0.77	0.95	1.18	1.32	
<i>Sujet J</i>	Eclair.	0.03	0.10	0.40	1.20	5.2	11.6	40	114	
	Acuité	0.18	0.33	0.54	0.63	0.78	0.875	1.02	1.10	

TABLEAU X

SIXIÈME EXPÉRIENCE : Lumière jaune.

Test pour l'acuité unité à la distance de 5 mètres.

<i>Suj. A</i>	Eclair.	0.021	0.1	0.315	0.88	3.4	10.5	52	380		
	Acuité	0.19	0.38	0.545	0.74	0.945	1.11	1.38	1.358		
<i>Suj. B</i>	Eclair.	0.018	0.058	0.28	0.765	3.5	9	28	30	138	
	Acuité	0.10	0.22	0.33	0.43	0.66	0.72	0.82	0.84	0.98	
<i>Suj. C</i>	Eclair.	0.025	0.118	0.367	1.14	6	16	62	800		
	Acuité	0.14	0.21	0.30	0.39	0.58	0.74	0.87	1.02		
<i>Suj. D</i>	Eclair.	0.021	0.094	0.335	1.02	5.3	13.1	52	440		
	Acuité	0.18	0.28	0.44	0.585	0.795	0.93	1.125	1.25		
<i>Suj. E</i>	Eclair.	0.020	0.059	0.188	0.325	0.820	3.90	10.1	34	104	480
	Acuité	0.007	0.188	0.30	0.39	0.448	0.69	0.77	0.93	1.12	1.30
<i>Suj. F</i>	Eclair.	0.021	0.056	0.285	0.79	3.9	9.9	28	82		
	Acuité	0.17	0.27	0.46	0.66	0.91	1	1.25	1.44		
<i>Suj. G</i>	Eclair.	0.02	0.058	0.164	0.316	0.78	3.80	9.60	13	42	122
	Acuité	0.139	0.222	0.364	0.42	0.483	0.723	0.845	0.95	1.05	1.16
<i>Suj. H</i>	Eclair.	0.024	0.058	0.346	0.735	4	9.80	31	84	480	
	Acuité	0.21	0.28	0.63	0.71	1.07	1.12	1.31	1.35	1.57	
<i>Suj. I</i>	Eclair.	0.021	0.079	0.30	0.815	4	11	29	90		
	Acuité	0.16	0.21	0.43	0.62	0.86	1.02	1.11	1.30		
<i>Suj. J</i>	Eclair.	0.025	0.07	0.28	0.7	5.5	13.9	32	300		
	Acuité	0.18	0.35	0.55	0.67	0.93	1	1.13	1.36		

L'examen des courbes du dépliant I, montre :

1° Que la variation de l'acuité en fonction de l'éclairement, pour un test considéré, peut être sensiblement représentée pour les deux lumières par une droite.

2° Que l'acuité visuelle pour un éclairement constant, varie avec la dimension du test considéré, et est d'autant plus faible que ce test doit être lu, normalement, à des distances plus grandes. Cette remarque est vraie quelle que soit la valeur des éclairéments entre 0,02 et 300 lux et quelle que soit la nature de la lumière.

Cette influence de la distance de lecture sur l'acuité donnerait à penser que les sujets choisis pour nos expériences étaient atteints de myopie, phénomène déjà signalé par KLEIN. Or, après examen par un oculiste, le seul sujet G a été considéré comme atteint de myopie ; mais au cours des expériences, il était pourvu de lunettes correctrices. Il est intéressant de signaler que le sujet A, d'origine guyanaise, est doué d'une vue exceptionnelle à grande distance et d'une acuité très au-dessus de la

moyenne, ainsi que le montrent les résultats obtenus (dépliant I, sujet A) ; enfin, le sujet E, âgé de 58 ans, est atteint de presbytie ; soumis aux expériences sans lunettes correctrices, il se trouvait dans des conditions particulièrement propres à discerner à grande distance. Afin de confirmer ces résultats, j'ai jugé utile de reprendre certaines expériences, en me plaçant dans des conditions différentes ; ces expériences sont relatées plus loin.

3° Que l'acuité visuelle pour huit sujets sur dix est, pour chaque valeur des éclairagements supérieurs à 0,05 lux, plus grande en lumière sélectionnée qu'en lumière blanche, quel que soit le test considéré.

4° Que pour les tests 10 et 5 mètres, cette légère augmentation d'acuité visuelle se constate, quel que soit l'éclairage, pour neuf sujets sur dix.

5° Que pour un sujet sur dix il n'est constaté aucune amélioration.

Le tableau XI donne la moyenne des résultats obtenus sur les dix sujets.

TABLEAU XI

Test 20 mètres.

Eclairage (<i>en lux</i>)	0.03	0.1	1	10	50
Acuité en lumière blanche .	0.131	0.222	0.422	0.65	0.82
Acuité en lumière jaune . . .	0.137	0.243	0.451	0.707	0.87

Test 10 mètres.

Eclairage (<i>en lux</i>)	0.03	0.1	1	10	100
Acuité en lumière blanche .	0.182	0.273	0.505	0.772	1.034
Acuité en lumière jaune . . .	0.190	0.289	0.537	0.83	1.10

Test 5 mètres.

Eclairage (<i>en lux</i>)	0.03	0.1	1	10	100
Acuité en lumière blanche .	0.176	0.299	0.52	0.806	1.13
Acuité en lumière jaune . . .	0.182	0.32	0.57	0.88	1.226

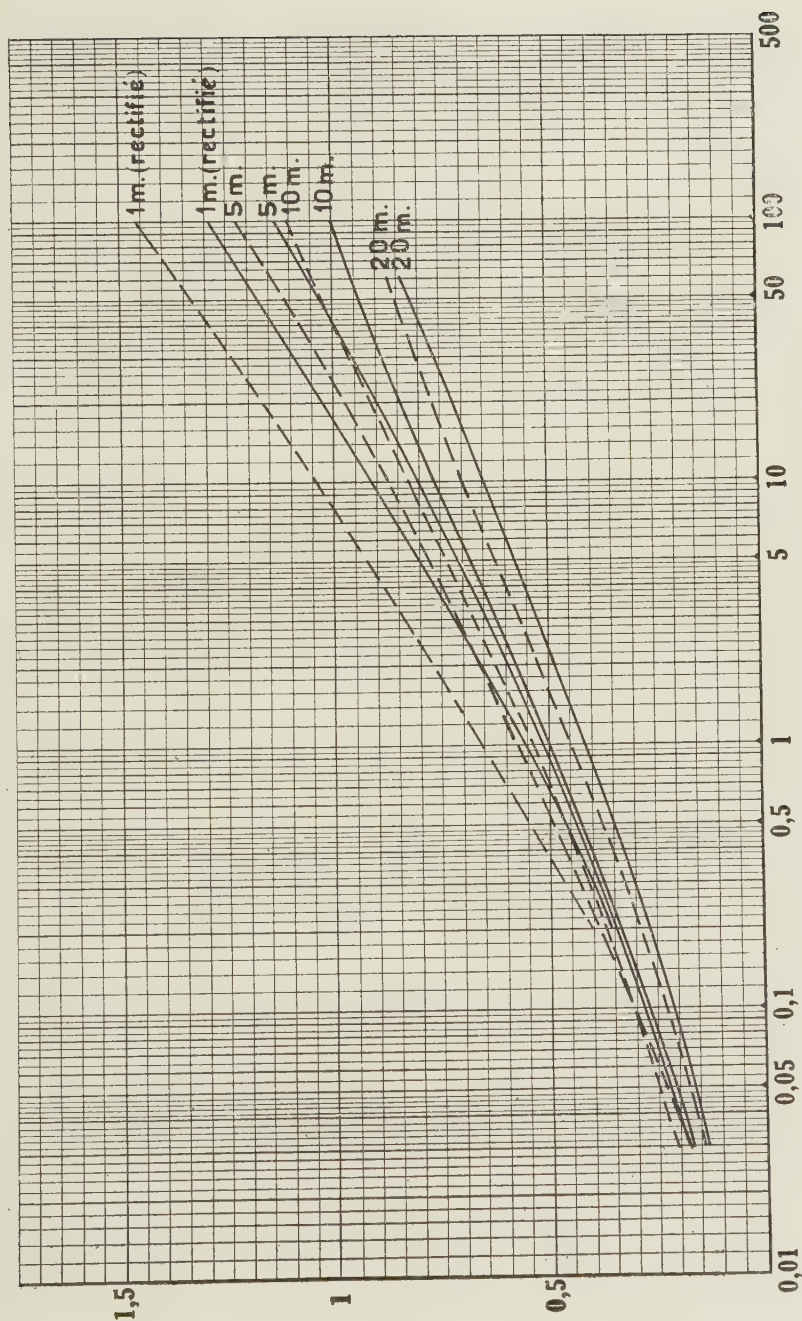


Fig. 19. — Courbes moyennes de l'acuité établies sur dix sujets.

Les courbes déduites de ce tableau (*fig. 19*) montrent que la variation de l'acuité en fonction de l'éclairement, ainsi que l'avait précédemment signalé KOENIG (1), est de la forme

$$v = k \log e$$

Elles confirment par ailleurs l'opinion que j'ai émise plus haut sur l'influence de la distance de discrimination. Cette influence semble se faire d'autant plus sentir que la distance est supérieure à 5 mètres. On constatera, en effet, que l'écart est beaucoup plus élevé entre les courbes correspondant aux tests 20 mètres et 10 mètres qu'entre les courbes correspondant aux tests 10 mètres et 5 mètres.

L'augmentation relative d'acuité avec les différents tests en fonction des éclairagements quand l'éclairage blanc est remplacé par un éclairage jaune est, pour des éclairagements supérieurs à 0,1 lux, constante et indépendante de l'éclairement.

Déduites des courbes précédentes, ces augmentations relatives, sont portées dans le tableau suivant qui montre, aux erreurs d'expériences près, qu'il en est bien ainsi.

TABLEAU XII

Test 20 mètres.

Eclairement (<i>en lux</i>).....	0.03	0.1	1	10	50
Gain en %	4.5	9	7.5	8.8	6.5

Test 10 mètres.

Eclairement (<i>en lux</i>).....	0.03	0.1	1	10	100
Gain en %	4.9	6	6.5	8	7

Test 5 mètres.

Eclairement (<i>en lux</i>).....	0.03	0.1	1	10	100
Gain en %	3.5	7	9.8	9	9

L'éclairage en lumière sélectionnée augmente donc l'acuité visuelle.

(1) Henri Lagrange. — Amblyopie crépusculaire, 1929.

Cette particularité avait déjà fait l'objet des remarques de MACÉ de LEPINAY et de NICATI (1). Ces savants avaient cherché, pour chaque partie du spectre solaire, dans quelles proportions il fallait augmenter la quantité de lumière pour procurer à l'œil la même acuité visuelle que celle obtenue pour la radiation de plus grande visibilité (5 550 Angström). Ils ont ainsi déterminé une série de coefficients appelés coefficients d'égale acuité.

MACÉ de LEPINAY et NICATI ont trouvé le maximum d'acuité visuelle vers la radiation de longueur d'onde 5 690 Angström, très peu éloignée de la longueur d'onde dominante de la lumière jaune émise par un filament de tungstène à la température de couleur de 2 850° absolus à travers un verre au sulfure de cadmium, caractérisée par une radiation dominante de longueur d'onde 5 825 Angström et un facteur de pureté égal à 0,97.

M. G. HOLST, directeur des Laboratoires de la SOCIÉTÉ PHILIPS a mesuré les valeurs de l'augmentation d'acuité visuelle résultant de l'emploi d'un éclairage monochromatique produit par une lampe à vapeur de sodium (2). Avec cette lumière, et pour des contrastes accusés, un accroissement d'acuité visuelle de 25 % s'est dit-il révélé. C'est exprimer de la sorte qu'il est possible d'obtenir, pour des éclairagements de 4 à 5 fois moins intenses en lumière jaune, une acuité visuelle identique à celle mesurée en lumière blanche.

En 1912, IVES (3), a déterminé la courbe de sensibilité de l'œil par quatre méthodes (1), basées sur :

- 1° la brillance ;
- 2° l'acuité visuelle ;
- 3° le papillottement ;
- 4° la fréquence critique de papillottement.

(1) Charpentier. — Impressions lumineuses sur la rétine (Traité de Physique Biologique), p. 935.

(2) Physica, vol. 13, p. 33-40, mars 1933.

(3) Phil. Mag., 1912. Référence citée dans l'étude de G. Holst.

Tandis que les méthodes 1, 3 et 4 donnaient sensiblement les mêmes résultats, ceux obtenus par la méthode de l'acuité visuelle conduisaient à des courbes dont les ordonnées étaient de 4 à 5 fois plus grandes. Autrement dit, Ives met en évidence que pour obtenir avec une lumière monochromatique une acuité visuelle aussi bonne qu'en lumière blanche, il faut une intensité lumineuse égale au quart ou au cinquième de celle déterminée d'après les méthodes 1, 3 et 4.

De ces travaux, il résulte que la lumière monochromatique augmente l'acuité visuelle et cela d'autant plus nettement que la radiation se rapproche de la longueur d'onde 5 690 Angström.

On ne saurait donc s'étonner du résultat accusé par le tableau XII d'où il ressort que l'acuité visuelle est augmentée d'environ 10 % par l'emploi de la lumière sélectionnée jaune, assimilable à une lumière monochromatique de longueur d'onde 5 825 Angström légèrement lavée de blanc, mais qui ne présente pas comme elle les mêmes inconvénients d'ordre pratique. Inversement l'éclairement en lumière blanche doit être supérieur de 50 à 70% à celui en lumière jaune pour obtenir la même acuité visuelle.

b) Influence du rétrécissement pupillaire sur l'acuité.

Il m'a paru intéressant de rechercher l'influence exercée par le rétrécissement de la pupille sur la variation d'acuité observée en fonction des dimensions des tests utilisés.

Il est bien évident que, dans le cas d'un test de dimensions importantes devant être discriminé à grandes distances, le flux lumineux reçu par la pupille, sera d'autant plus grand que ce test sera plus près de la pupille ; dans ce cas, la pupille du sujet sera plus contractée et la mise au point plus nette, ce qui augmente l'acuité visuelle ; inversement, l'acuité sera moindre pour un test placé à grande distance.

La mesure des acuités a été de nouveau réalisée en lumière blanche pour les trois tests lisibles à 20, 10 et 5 mètres, en disposant devant l'œil des sujets des pupilles artificielles d'un diamètre de 2 mm, inférieur à celui de la pupille à son maximum de constriction.

De plus, l'acuité a été mesurée à la manière des oculistes en plaçant le sujet à 5 mètres du test, et en relevant la ligne discriminée par le sujet à cette distance.

Nous consignons dans le tableau XIII les résultats concernant les sujets K et L (1).

TABLEAU XIII

a) ECLAIREMENT : 3 LUX.

Méthode de mesure de l'acuité	Test utilisé	Acuité du Sujet K	
		Avec pupille artificielle de 2 mm	Sans pupille artificielle
Distance variable	5 m	0,52 (perception à 2 m 60)	0,50 (perception à 2 m)
	10 m	0,51 (perception à 5 m 10)	0,50 (perception à 5 m)
	20 m	0,515 (perception à 10 m 25)	0,485 (perception à 9 m 70)
Distance fixe de 5 m	10 m	0,5	0,5

Méthode de mesure de l'acuité	Test utilisé	Acuité du Sujet L	
		Avec pupille artificielle de 2 mm	Sans pupille artificielle
Distance variable	5 m	0,65 (perception à 3 m 25)	0,60 (perception à 3 m)
	10 m	0,625 (perception à 6 m 25)	0,575 (perception à 5 m 75)
	20 m	0,60 (perception à 12 m)	0,55 (perception à 11 m)
Distance fixe de 5 m	8 m	0,6	0,6

(1) Cette recherche en dehors du sujet de notre étude, n'ayant pour but que de déterminer l'influence d'un diaphragme sur l'acuité, il était inutile de renouveler les expériences sur l'ensemble des sujets.

b) ECLAIREMENT : 85 LUX.

Méthode de mesure de l'acuité	Test utilisé	Acuité du Sujet K	
		Avec pupille artificielle de 2 mm	Sans pupille artificielle
Distance variable	5 m	0,84 (perception à 4 m 20)	0,85 (perception à 4 m 50)
	10 m	0,80 (perception à 8 m)	0,80 (perception à 8 m)
	20 m	0,75 (perception à 15 m)	0,675 (perception à 13 m 50)
Distance fixe de 5 m	6,3 m	0,8	0,8

Méthode de mesure de l'acuité	Test utilisé	Acuité du Sujet L	
		Avec pupille artificielle de 2 mm	Sans pupille artificielle
Distance variable	5 m	1,15 (perception à 5 m 75)	1,10 (perception à 5 m 55)
	10 m	1,10 (perception à 11 m)	0,975 (perception à 9 m 75)
	20 m	1,04 (perception à 20 m 80)	0,75 (perception à 15 m)
Distance fixe de 5 m	5 m	1,0	1,0

On remarquera :

1° pour des éclairements faibles (de l'ordre de 3 lux) :

a) que l'interposition d'une pupille artificielle, si elle augmente (ainsi qu'il fallait le prévoir), la valeur de l'acuité, ne diminue cependant pas sensiblement les écarts entre l'acuité à grande distance et l'acuité à petite distance ;

b) que la valeur de l'acuité mesurée en faisant varier la distance ou en se plaçant à distance fixe (méthode des oculistes) reste sensiblement la même. Ainsi, contrairement à ce que l'on admet généralement, les mesures peuvent être faites à moins de 5 mètres, sans que l'acuité soit sensiblement influencée par l'accommodation.

2° Pour des éclairements élevés (de l'ordre de 85 lux) :

a) que la différence entre les acuités constatées pour les différents tests (5 m, 10 m, 20 m) devient, par l'emploi d'une pupille artificielle, beaucoup plus faible ;

b) que, notamment, dans le cas des tests éloignés, l'acuité est alors sensiblement augmentée.

L'interposition d'une pupille artificielle a donc pour effet de corriger la vision en augmentant l'acuité visuelle, et cela d'autant plus que le test est plus éloigné et plus éclairé, c'est-à-dire que l'influence de sa brillance sur le diamètre pupillaire est plus nette.

Cependant, on doit constater avec Ellis FREEMANN (1) qu'en dépit de l'utilisation de pupilles artificielles des différences subsistent toujours à l'avantage des petites distances ce qui conduit à attribuer à d'autres phénomènes la cause des variations enregistrées.

Suivant KLEIN, et l'explication est plausible, cette anomalie est due au fait déjà indiqué par SNELLEN, et vérifié semble-t-il par un grand nombre d'observateurs, que l'acuité visuelle n'étant pas égale dans toutes les parties de la rétine, ses variations ne sont pas proportionnelles, d'une manière mathématique, à la grandeur de l'angle visuel.

Les mesures d'acuité visuelle effectuées sans pupille artificielle, en faisant varier la distance, sont donc influencées par ces deux facteurs. En fait, tant pour les forts éclairéments que pour les grandes distances, les chiffres obtenus, pour nos deux premières séries de mesures, sont moins élevés qu'ils ne le seraient si nos sujets avaient été pourvus de pupilles artificielles et s'ils avaient été placés à la seule distance de 5 mètres du test comme le font les oculistes.

Il n'en est pas moins vrai que, dans les conditions de pratique courante, les yeux du conducteur d'un véhicule automobile ne sont pas pourvus de pupilles artificielles et que ses facultés visuelles doivent lui permettre de discerner et d'apprécier à des distances déterminées les objets qui se trouvent devant lui. C'est dans de telles conditions voisines de celles de la pratique qu'il m'a paru intéressant de mesurer le pouvoir de discrimination. Les mesures réalisées, tiennent compte de l'éloignement et de l'éclairément des tests, des réactions qui en résultent sur la pupille, et probablement aussi de l'accommodation consécutive.

(1) Ellis Freemann. -- Accommodation, pupillary width and stimulus distance. *Journal of the Optical Society of America* t. 22, 1932.

En réalité, je ne devrais pas dénommer « acuité visuelle » la grandeur donnée par les mesures que j'ai effectuées, ce terme s'appliquant seulement au pouvoir discriminateur de vision tel que l'entendent les oculistes, mais désireux de ne point créer une nouvelle terminologie, je continuerai d'appeler « acuité visuelle » le pouvoir discriminateur mesuré en faisant varier la distance du test au sujet.

c) Influence des contrastes sur l'acuité.

L'étude précédente a permis d'établir que l'acuité visuelle d'un sujet placé dans les conditions où se trouve un conducteur d'automobile croît notablement quand il est fait usage d'une lumière jaune sélectée, le test utilisé étant formé par des bandes noires sur fond blanc ; j'ai cru devoir entreprendre une nouvelle série d'expériences sur quelques-uns des sujets favorisés par la lumière jaune, afin de rechercher si les avantages constatés quand il est fait usage d'un test noir sur fond blanc se reproduisent avec des tests blanc sur fond noir, blanc sur fond gris, gris sur fond blanc, noir sur fond gris.

J'ai utilisé une échelle de MONOYER rectifiée par le Docteur PARINAUD. Elle est formée d'une série de lettres au-dessus desquelles sont portées les distances auxquelles un œil normal doit les distinguer (*fig. 20*).

Cinq reproductions photographiques furent réalisées, en grandeur naturelle, sur papier mat en opérant de la façon suivante :

LETTRES NOIRES SUR FOND BLANC.

1^o Reproduction sur plaque lente spéciale pour trait ; utilisation d'un révélateur spécial chargé d'iodure de potassium qui conserve la transparence des parties non impressionnées par la lumière, ce qui permet d'obtenir un cliché avec fond *noir opaque* et des dessins *très transparents*.

2^o Tirage sur papier à *grand contraste* qui donne des épreuves plus contrastées que l'original.

D=0.25		D=2
.	.	P N D F K
D=0.37		D=2.50
r	d	V Z O L T
D=0.50		D=3
o	z	E D B R
D=0.75		D=4
u	l	N C F
D=1.00		D=5
t	f	D L
D=1.50		
f	r	
t	s	
o	b	

D=7

T P U

D=10

F B

Fig. 20. — Echelle de Parinaud.

LETTRES BLANCHES SUR FOND NOIR.

1° Reproduction du négatif ci-dessus, par transparence, sur même plaque que la précédente, même révélateur.

2° Tirage comme précédemment.

LETTRES GRISES SUR FOND BLANC.

Tirage du premier cliché, avec pose très courte ; cliché très peu révélé, jusqu'au ton gris désiré.

LETTRES NOIRES SUR FOND GRIS.

Tirage du cliché comme pour les lettres noires sur fond blanc ; cliché grisé jusqu'au ton voulu en vaporisant à l'aérographe un vernis gris transparent.

Le facteur de réflexion de ces tests a été mesuré pour un éclairement de 96 lux à l'aide d'un luxmètre WAGUET.

Les facteurs de réflexion respectifs des lettres et du fond de l'échelle de MONOYER, sont donnés par la formule

$$\rho = \rho_0 \frac{E'}{E}$$

dans laquelle ρ_0 est le facteur de réflexion du plan d'épreuve du luxmètre WAGUET (0,72), E l'éclairement mesuré sur ce plan d'épreuve (96 lux) et E' l'éclairement apparent mesuré sur le test considéré.

La brillance B , en bougies par m^2 , déduite de la relation

$$B = \rho \frac{E}{\pi}$$

est indiquée à titre documentaire dans le tableau ci-dessous pour un éclairement de 96 lux.

TABLEAU XIV

Lettres blanches sur fond noir	$\left\{ \begin{array}{l} \text{lettres } \rho_L = 0,780 \\ \text{fond } \rho_F = 0,052 \end{array} \right.$	$\begin{array}{l} B_L = 23,8 \\ B_F = 1,54 \end{array}$
Lettres noires sur fond blanc	$\left\{ \begin{array}{l} \text{lettres } \rho_L = 0,058 \\ \text{fond } \rho_F = 0,832 \end{array} \right.$	$\begin{array}{l} B_L = 1,76 \\ B_F = 25,4 \end{array}$
Lettres blanches sur fond gris	$\left\{ \begin{array}{l} \text{lettres } \rho_L = 0,728 \\ \text{fond } \rho_F = 0,195 \end{array} \right.$	$\begin{array}{l} B_L = 22,2 \\ B_F = 5,95 \end{array}$
Lettres grises sur fond blanc	$\left\{ \begin{array}{l} \text{lettres } \rho_L = 0,196 \\ \text{fond } \rho_F = 0,840 \end{array} \right.$	$\begin{array}{l} B_L = 6,07 \\ B_F = 25,6 \end{array}$
Lettres noires sur fond gris	$\left\{ \begin{array}{l} \text{lettres } \rho_L = 0,055 \\ \text{fond } \rho_F = 0,225 \end{array} \right.$	$\begin{array}{l} B_L = 1,69 \\ B_F = 6,87 \end{array}$

Il ne m'a pas semblé nécessaire de reproduire les résultats obtenus sur chacun des sujets, le but principalement visé étant de rechercher la seule influence des contrastes sur le gain relatif apporté par l'utilisation d'une lumière jaune.

Le tableau XV ci-dessous, analogue au tableau XI donne les moyennes des acuités mesurées en fonction de l'éclairement pour les différents tests employés.

TABLEAU XV

Éclairements		Activité visuelle			
Lux		Lettres blanches sur fond noir		Lettres noires sur fond blanc	
Lumière blanche	Lumière jaune	Lumière blanche	Lumière jaune	Lumière blanche	Lumière jaune
0.066	0.058	0.12	0.103	0.094	0.088
0.25	0.19	0.22	0.28	0.244	0.28
1.05	0.9	0.45	0.56	0.48	0.56
2.7	2,9	0.66	0.73	0.73	0.78
10.8	12.5	0.93	1.09	0.95	1.06
86	80	1.25	1.26	1.00	1.3
280	330	1.19	1.26	1.32	1.4

Éclairements		Acuité visuelle					
Lux		Lettres blanches sur fond gris		Lettres grises sur fond blanc		Lettres noires sur fond gris	
Lumière blanche	Lumière jaune	Lumière blanche	Lumière jaune	Lumière blanche	Lumière jaune	Lumière blanche	Lumière jaune
0.066	0.058	0.082	0.078	0.08	0.08	0.30	0.20
0.25	0.19	0.142	0.20	0.18	0.21	0.056	0.056
1.05	0.9	0.40	0.475	0.435	0.475	0.13	0.195
2.7	2.9	0.62	0.69	0.65	0.71	0.38	0.35
10.8	12.5	0.82	0.95	0.90	0.98	0.63	0.74
86	80	1.18	1.21	1.22	1.21	1.02	1.06
280	330	1.10	1.24	1.28	1.36	1.08	1.14

Les traits compacts figurent la lumière blanche et les traits plus légers ou espacés figurent la lumière jaune.

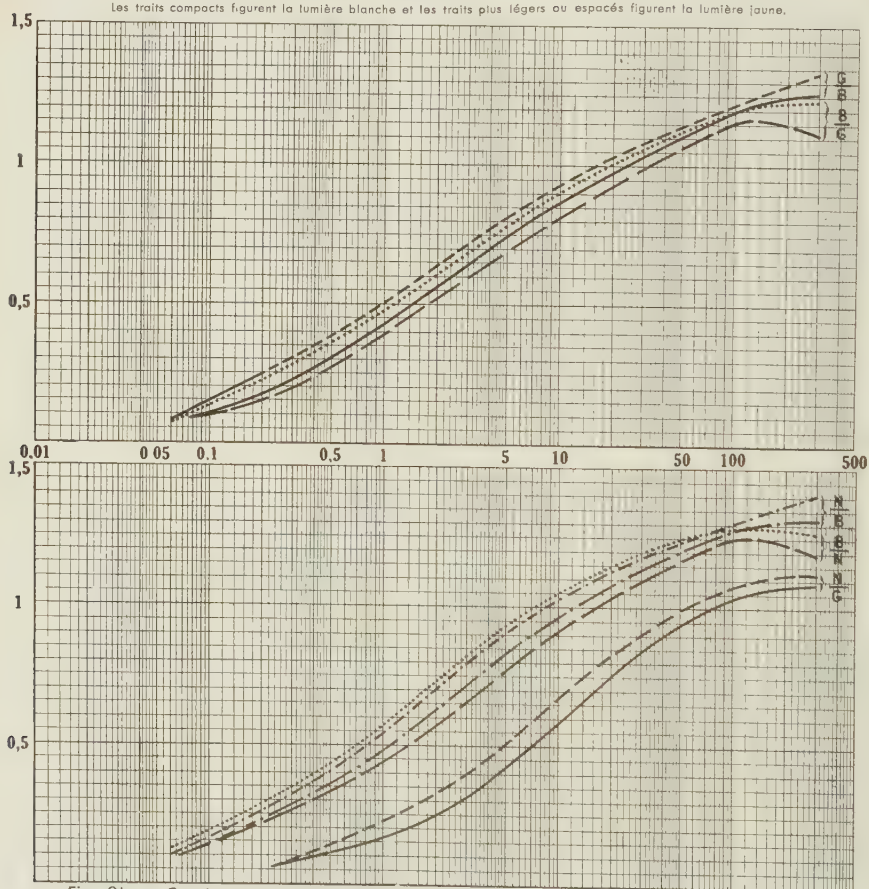


Fig. 21. — Courbes d'acuité visuelle (échelle de Parinaud avec différents contrastes).

La *figure 21* représente les courbes d'acuité en fonction de l'éclairement en lumière blanche et en lumière sélectionnée jaune pour chacun des tests considérés.

D'après ces courbes, il semble que l'on puisse déduire :

1° Que l'acuité, aussi bien en lumière blanche qu'en lumière sélectionnée jaune, est plus grande lorsque la brillance du test est inférieure à la brillance du fond ; par exemple, l'acuité est plus élevée pour les lettres grises sur fond blanc que pour les lettres blanches sur fond gris. Il en est de même pour les lettres noires sur fond blanc comparativement aux lettres blanches sur fond noir ;

2° Qu'en lumière blanche, l'acuité ne croît plus au delà d'un certain éclairement lorsque la brillance du test est supérieure à la brillance du fond (un décroissement est même accusé). Ce phénomène est probablement dû à l'irradiation des lettres (courbes des lettres blanches sur fond noir et des lettres blanches sur fond gris). En effet, à partir d'un certain éclairement, les lettres, par suite de ce phénomène, semblent s'étaler et perdre de leur netteté ;

3° Qu'en lumière sélectionnée jaune, cette irradiation semble moins importante, ce qui a pour effet d'accroître l'acuité ;

4° Qu'en utilisant la lumière sélectionnée jaune, l'acuité mesurée à l'aide d'un test clair sur fond sombre est sensiblement égale à celle mesurée avec un test sombre sur fond clair.

d) Acuité pour les tests de petites dimensions.

L'analyse des résultats précédemment obtenus a permis de conclure à une amélioration de l'acuité d'autant plus élevée que les tests sont plus petits, ce qui permet de penser que pour des tests très réduits, cette amélioration due à la lumière jaune serait plus grande encore. Il pourrait être intéressant par conséquent, d'utiliser cette lumière pour les travaux fins d'atelier ou de bureau. Quoique cette étude soit en dehors du cadre que je m'étais primitivement fixé, j'ai répété les expériences sur des tests correspondant à une acuité égale à 1 à une distance de 1 mètre.

Pour cela, j'ai utilisé une échelle de MONOYER, prolongée par le Docteur H. PARINAUD jusqu'à 0,25 mètre, à l'aide de procédés héliographiques assurant une exactitude rigoureuse. Elle est formée par des lettres majuscules égyptiennes qui sous-tendent un arc de 5'.

J'ai conservé le processus des mesures effectuées précédemment en déplaçant le test sur l'axe d'un projecteur d'automobile. Ces expériences faites sur les dix sujets précédemment examinés, ont donné les résultats moyens qui font l'objet du tableau XVI.

TABLEAU XVI

Eclairement (<i>en lux</i>)	0.2	1	10	100
Acuité en lumière blanche ..	0.40	0.71	1.17	1.66
Acuité en lumière jaune ...	0.47	0.85	1.34	1.86
Gain relatif en %	17.5	19.8	14.5	12.1

Les traits continus figurent la lumière blanche et les traits discontinus figurent la lumière jaune.

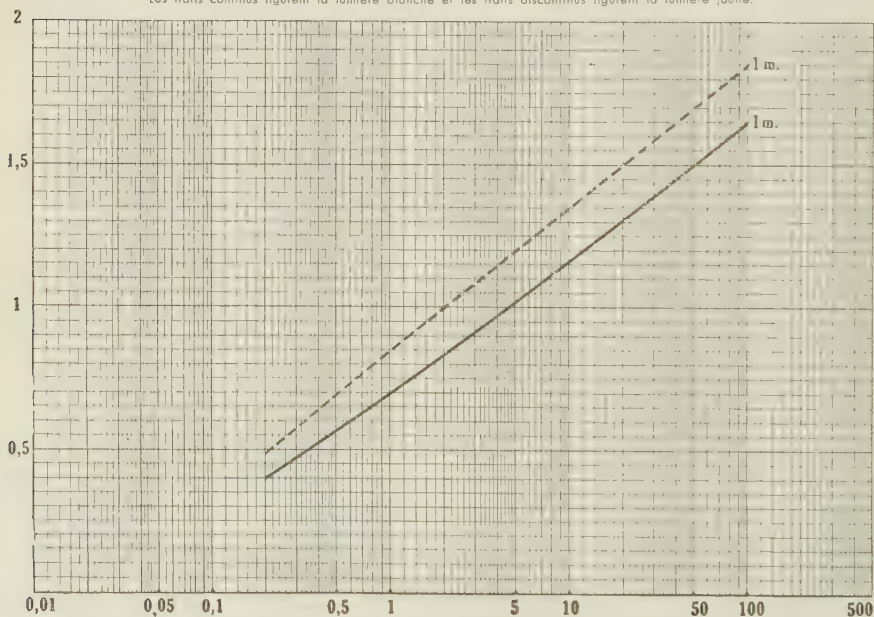


Fig. 22 - Courbes moyennes d'acuité à la distance d'un mètre.

Les courbes de la figure 22, qui concrétisent ces résultats, permettent de constater que la relation générale $v = k \log e$ se

vérifie pour les petites distances. Elles font également apparaître, comme nous l'avions prévu, une augmentation de l'acuité visuelle en lumière sélectée jaune, plus accentuée pour les petites distances que pour les grandes, et montrent l'intérêt de cette lumière pour la lecture.

e) **Influence de la dimension des tests sur l'acuité.**

Pour terminer cette étude relative à l'acuité, je comparerai entre elles, à éclairement égal, les différentes courbes obtenues pour les tests 20 mètres, 10 mètres, 5 mètres et 1 mètre.

Toutefois, n'ayant pas utilisé les mêmes échelles optométriques, il apparaît nécessaire d'apporter une correction aux dernières valeurs obtenues à l'aide de l'échelle de PARINAUD.

Dans la première série d'expériences, j'avais en effet utilisé les échelles de SULZER permettant de corriger l'astigmatisme. Le fait de noter chaque fois les valeurs d'acuité sur les bandes les moins perceptibles par le sujet, a conduit à des résultats numériquement inférieurs à ceux qui auraient été obtenus sur les bandes les plus perceptibles et à plus forte raison sur des lettres qui sont lues à plus grande distance, parce que, le plus souvent, devinées.

On peut du reste évaluer ce que j'appellerai le « coefficient de lisibilité » ou rapport entre l'acuité mesurée sur les lettres et l'acuité mesurée sur les cercles les moins perceptibles.

Quoique ce rapport soit très variable avec les sujets et la forme des lettres, il peut néanmoins servir avec une approximation suffisante à la comparaison des acuités en fonction de la distance.

J'ai déterminé sur les dix sujets la distance à laquelle l'œil pouvait distinguer les bandes les moins perceptibles de l'échelle de SULZER et celle à laquelle il pouvait distinguer les lettres correspondantes de l'échelle de PARINAUD. Le rapport moyen de ces distances, que j'ai vérifié pour plusieurs séries de lignes correspondantes, a été trouvé égal à 1,28.

En divisant toutes les ordonnées des courbes d'acuité à la distance de 1 mètre par ce coefficient, j'ai obtenu des courbes

rectifiées qui peuvent alors être comparées aux courbes d'acuité à 20 mètres, 10 mètres et 5 mètres de la *figure 19*.

Si l'on trace, à éclairage égal, pour 0,2 lux, 1 lux, 10 lux et 100 lux les courbes $v=f(d)$ (*fig. 23*) pour la lumière sélectionnée jaune, par exemple, d étant la distance de lecture de chacun des tests

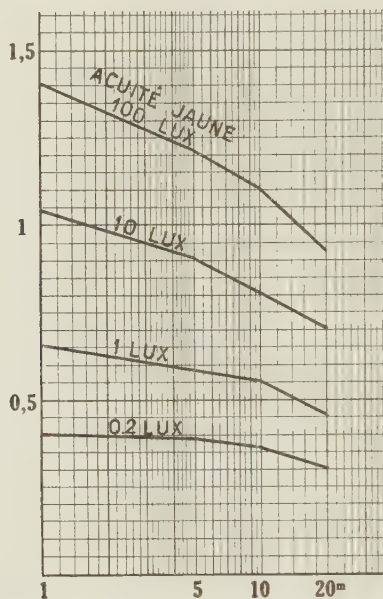


Fig. 23.

considérés, on s'aperçoit que l'acuité est d'autant plus faible que la distance considérée est plus grande, et qu'en outre, cette diminution est caractérisée par une chute notable au-delà de 10 mètres, ce que j'avais déjà laissé prévoir au début de ce chapitre.

* * *

B. VISIBILITÉ DES OBJETS.

L'étude entreprise dans le chapitre précédent a démontré qu'un éclairage en lumière sélectionnée jaune augmente le pouvoir discriminatoire. Cette augmentation pourrait s'expliquer par une diminution des aberrations chromatiques de l'œil en présence d'une lumière moins riche en radiations que la lumière blanche, et par une moindre irradiation.

Mais à égalité d'éclairement, on peut attribuer, en partie, le gain enregistré à la plus grande sensibilité de l'œil aux radiations jaunes. Dans une telle hypothèse l'œil apprécierait mieux les objets éclairés en lumière jaune. Cette proposition a été vérifiée par différents auteurs, et notamment par MM. TSCHERNING et MOTAIS.

Par ailleurs, CHARPENTIER a mesuré la perception différentielle des diverses lumières colorées en opérant ainsi :

La sensation lumineuse pouvant s'exprimer d'après cet auteur, par une fonction qui commence au minimum perceptible (valeur de la lumière excitatrice au-dessous de laquelle l'œil ne perçoit rien), c'est ce point de départ commun à toutes les radiations qu'il a choisi comme unité d'intensité. Celle-ci connue, CHARPENTIER donnait à l'éclairage une valeur 100, 200, 300 fois plus grande, et recherchait pour chacune des couleurs envisagées l'éclairement supplémentaire à produire sur une surface donnée pour que l'œil puisse la différencier d'un fond identique sur lequel elle se trouvait placée. Rapporté à l'éclairement du fond, cet éclairement supplémentaire donnait pour chaque couleur la valeur de la « fraction différentielle ».

Opérant à l'aide de quatre verres colorés : rouge, jaune, vert et bleu correspondant dans le spectre à des bandes de longueur d'onde moyenne 6 500, 5 800, 5 320 et 4 600 Angström, CHARPENTIER obtint les résultats suivants :

TABLEAU XVII

<i>Intensité du fond</i> en unités arbitraires	<i>Eclairements supplémentaires</i> en unités arbitraires				
	<i>Rouge</i>	<i>Jaune</i>	<i>Vert</i>	<i>Bleu</i>	<i>Blanc</i>
6	4	...	...	...	...
25	7,5	9	30	36	16
56	9	...	...	...	...
100	10,5	20	49	90	38,5
156	16	...	...	...	...
225	25	32,5	64	156	50,5
400	...	36	100	193	64
625	...	49	121	240	76
900	...	61	144	324	85
	<i>Fractions différentielles</i>				
6	0.66	...	...	...	...
25	0.30	0.36	1.2	1.45	0.64
56	0.16	...	...	...	...
100	0.105	0.20	0.49	0.90	0.38
156	0.102	...	...	...	...
225	0.11	0.14	0.28	0.69	0.22
400	...	0.09	0.25	0.48	0.16
625	...	0.078	0.19	0.38	0.12
900	...	0.068	0.16	0.36	0.094

Ce tableau met en évidence que, pour une même valeur objective de l'intensité lumineuse mesurée avec une unité basée sur le minimum perceptible, la fraction différentielle est d'autant plus grande qu'on opère sur des lumières plus réfrangibles et que l'éclairement est plus faible. On constate par ailleurs que le blanc se comporte comme une couleur moyenne et se place entre le jaune 5 800 et le vert 5 320.

Cette constatation permet ainsi de penser que la fraction différentielle sera plus faible en lumière jaune sélectionnée, telle que nous la produisons, qu'en lumière blanche. Par voie de conséquence,

l'appréciation d'une différence d'intensité lumineuse étant facilitée, la perception des objets le sera également.

J'ai mesuré non point la fraction différentielle qui correspond à la faculté d'apprécier une différence très faible d'intensité lumineuse (expériences précédemment rappelées de M. Y. LE GRAND), ni même le minimum de lumière perceptible (1), mais le minimum de lumière nécessaire à la perception distincte de la forme d'un objet de teinte homogène sur fond noir.

a) Étude de la visibilité des objets.

J'ai choisi deux tests rectangulaires, de grandes dimensions (50 cm sur 30 cm), l'un gris clair, l'autre gris foncé, réalisés à l'aide d'un mélange intime de plâtre et de noir de fumée, et présentant une surface rugueuse afin d'éliminer la réflexion spéculaire.

Les facteurs de réflexion de chacun de ces tests, déterminés en fonction de celui du plan d'épreuve du luxmètre WAGUET fonctionnant en brillancemètre, m'a donné les valeurs suivantes (2) :

$$\text{test gris clair } \rho_C = 0,463$$

$$\text{test gris foncé } \rho_F = 0,131$$

Un observateur O était placé devant le test T posé sur un écran noir N perpendiculaire à l'axe du faisceau d'un projecteur d'automobile P (*fig.* 24).

Par l'interposition d'écrans en verre dépoli ne modifiant qu'insensiblement la nature spectrale du faisceau émis, j'ai, lors de chaque expérience, réduit l'éclairement sur le test T à la valeur limite au delà de laquelle le test n'était plus perceptible pour le sujet O ; puis, partant de l'obscurité totale, j'ai fait une nouvelle mesure en augmentant, par la suppression d'un certain nombre d'écrans, la valeur de l'intensité lumineuse jusqu'à l'apparition du test T.

(1) Cette valeur est très difficile à mesurer, car d'après Fechner, l'œil serait toujours sous l'effet d'une sensation lumineuse due à une excitation interne permanente. Nous pourrions ajouter que « l'état antérieur » de l'œil influe également dans certaines conditions.

(2) $\rho = \rho_0 \frac{B}{B_0}$; B brillance du test, B_0 brillance du plan d'épreuve, ρ_0 facteur de réflexion du plan d'épreuve (0,72).

La moyenne des deux résultats m'a donné la valeur de l'intensité lumineuse correspondant à la limite de perception distincte de chacun de ces deux tests.

J'ai ainsi relevé toute une série de mesures en lumière blanche et en lumière sélectionnée jaune, sur 20 sujets des deux sexes, après un séjour de 20 minutes dans l'obscurité.

Ces expériences ont été effectuées dans un laboratoire de 32 mètres de longueur ; les sujets étaient placés à 20 mètres, puis à 30 mètres du test.

Le tableau suivant résume les résultats obtenus :

TABLEAU XVIII

Éclairements correspondant à la limite de perception des tests

Sujets du Sexe	LUMIÈRE BLANCHE Éclairement en lux				LUMIÈRE JAUNE Éclairement en lux			
	Test gris clair		Test gris foncé		Test gris clair		Test gris foncé	
	20 m	30 m	20 m	30 m	20 m	30 m	20 m	30 m
Masculin								
A	0,0380	0,1010	0,0955	0,2505	0,0135	0,0470	0,0600	0,120
B	0,0130	0,0480	0,0610	0,1630	0,0065	0,0270	0,0430	0,125
C	0,0440	0,0850	0,1480	0,2960	0,0340	0,0540	0,1000	0,170
D	0,0095	0,0520	0,0680	0,1600	0,0070	0,0360	0,0310	0,112
E	0,0155	0,0410	0,0395	0,1900	0,0100	0,0263	0,0340	0,121
F	0,0100	0,0540	0,0380	0,0115	0,0085	0,0326	0,0230	0,078
G	0,0340	0,0520	0,0680	0,1310	0,0220	0,0420	0,0540	0,120
H	0,0230	0,0450	0,0980	0,2300	0,0350	0,0830	0,0155	0,336
I	0,0100	0,0480	0,0500	0,1450	0,0100	0,0350	0,0415	0,100
J	0,0215	0,0460	0,0730	0,1350	0,0150	0,0200	0,0350	0,084
K	0,0090	0,0890	0,0270	0,2380	0,0050	0,0370	0,0170	0,096
L	0,0100	0,0300	0,0360	0,1190	0,0090	0,0225	0,0220	0,063
M	0,0065	0,0115	0,0225	0,0460	0,0050	0,0090	0,0150	0,040

Sujets du Sexe	LUMIÈRE BLANCHE Éclairement en lux				LUMIÈRE JAUNE Éclairement en lux			
	Test gris clair		Test gris foncé		Test gris clair		Test gris foncé	
	20 m	30 m	20 m	30 m	20 m	30 m	20 m	30 m
Féminin								
N	0,0050	0,0110	0,0100	0,0350	0,0048	0,0100	0,0095	0,028
O	0,0100	0,0290	0,0610	0,1545	0,0050	0,0155	0,0225	0,126
P	0,0270	0,0470	0,1040	0,1560	0,0160	0,0410	0,0830	0,120
Q	0,0030	0,0080	0,0100	0,0320	0,0025	0,0065	0,0050	0,015
R	0,0065	0,0180	0,0110	0,0950	0,0050	0,0100	0,0100	0,075
S	0,0030	0,0070	0,0103	0,0280	0,0020	0,0065	0,0105	0,015

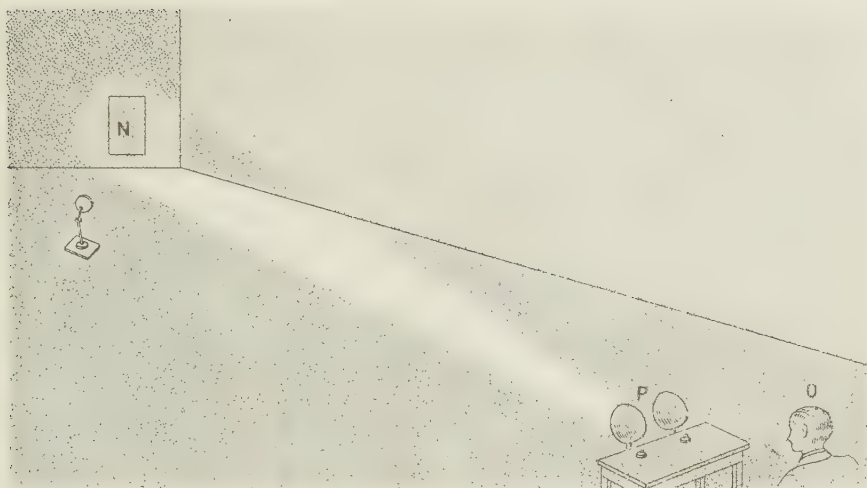


Fig. 24. — Essais de visibilité.

De ce tableau, il est intéressant d'extraire :

Les résultats relatifs au sujet le plus sensible, au sujet le moins sensible ainsi que les résultats moyens.

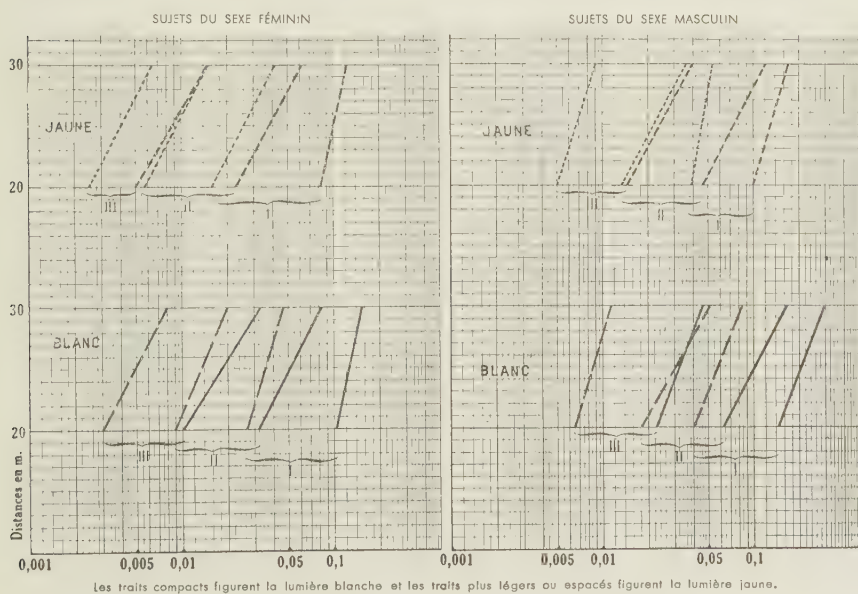


Fig. 25. — Courbes de visibilité.

Ceux-ci sont condensés ci-dessous :

TABLEAU XIX

Eclairements correspondant à la limite de perception des tests

SUJETS DU SEXE MASCULIN	LUMIÈRE BLANCHE Eclairement en lux				LUMIÈRE JAUNE Eclairement en lux			
	Test gris clair		Test gris foncé		Test gris clair		Test gris foncé	
	20 m	30 m	20 m	30 m	20 m	30 m	20 m	30 m
Sujet le moins sensible	0,044	0,085	0,148	0,296	0,034	0,054	0,100	0,170
Moyenne des sujets ...	0,0187	0,053	0,063	0,163	0,013	0,036	0,047	0,121
Sujet le plus sensible..	0,0065	0,011	0,022	0,046	0,005	0,009	0,015	0,04

SUJETS DU SEXE FÉMININ	LUMIÈRE BLANCHE Eclairement en lux				LUMIÈRE JAUNE Eclairement en lux			
	Test gris clair		Test gris foncé		Test gris clair		Test gris foncé	
	20 m	30 m	20 m	30 m	20 m	30 m	20 m	30 m
Sujet le moins sensible	0,027	0,047	0,104	0,156	0,016	0,041	0,083	0,12
Moyenne des sujets ...	0,009	0,020	0,032	0,083	0,005	0,015	0,023	0,063
Sujet le plus sensible ..	0,003	0,008	0,010	0,032	0,002	0,006	0,005	0,015

L'examen de ces valeurs et des graphiques correspondants (*fig. 25*) permet de remarquer :

1° Que dans tous les cas, les courbes représentant l'éclairement minimum nécessaire à la perception distincte, quels que soient le test et la lumière considérés, accusent une plus grande sensibilité visuelle pour les sujets du sexe féminin.

2° Que, comme il fallait le prévoir, l'éclairement nécessaire à la visibilité d'un certain test (test gris clair sur fond noir) est différent de celui nécessaire à la vision d'un autre test (test gris foncé sur fond noir), mais qu'il existe entre ces deux éclairements la relation $\varphi_C E_C = \varphi_F E_F$ pour un sujet déterminé et une certaine couleur de lumière.

En d'autres termes, le test sera perçu par un sujet donné dès que la brillance de ce test atteindra une certaine valeur, variable avec le sujet considéré et la couleur de la lumière dont il est fait usage.

Si nous déterminons les valeurs $\frac{E_F}{E_C}$ pour la moyenne des sujets des deux sexes, nous obtenons, en effet, le tableau suivant :

TABLEAU XX

Distances	LUMIÈRE BLANCHE		LUMIÈRE JAUNE	
	20 m	30 m	20 m	30 m
Moyenne des sujets du sexe masculin	3,4	3,1	3,4	3,35
Moyenne des sujets du sexe féminin	3,55	4,15	3,9	4,1

Ce rapport, pour la moyenne des sujets, est égal à 3,6, peu différent de celui des facteurs de réflexion qui est de 3,55.

3° Que la brillance nécessaire à la vision des tests est plus faible en lumière jaune qu'en lumière blanche.

4° Que cette brillance est d'autant plus élevée que le test est plus éloigné du sujet.

Afin de rechercher cette variation des brillances nécessaires à la perception d'un objet, en lumière blanche et en lumière jaune, en fonction de la distance du test au sujet, je me suis rendu sur une terrasse de 85 mètres de longueur et j'ai exécuté une nouvelle série de mesures sur 10 personnes du sexe masculin et d'âge très différent. J'ai reproduit ci-dessous, pour chacune d'elles, les éclairagements utiles à la perception distincte du test en fonction des distances. Au cours de ces expériences, je n'ai utilisé que le test gris foncé qui, pour être perçu, nécessite de forts éclairagements plus facilement mesurables.

Les différents éclairagements ont été mesurés d'une façon identique à celle précédemment indiquée, c'est-à-dire dès l'apparition et la disparition du test.

Les résultats sont consignés dans le tableau ci-après :

TABLEAU XXI

Eclairements correspondants à la limite de perception d'un test

Sujets	Age	LUMIÈRE BLANCHE Éclairement en Lux			
		20 m	40 m	55 m	70 m
A	32	0.20	0.37	0.50	0.65
B	35	0.095	0.17	0.24	0.36
C	28	0.115	0.18	0.22	0.27
D	26	0.145	0.22	0.27	0.33
E	43	0.085	0.11	0.135	0.16
F	44	0.125	0.175	0.22	0.28
G	32	0.21	0.31	0.37	0.40
H	58	0.125	0.22	0.28	0.35
I	41	0.10	0.195	0.32	0.50
J	42	0.085	0.22	0.30	0.43

Sujets	Age	LUMIÈRE JAUNE Éclairement en Lux			
		20 m	40 m	55 m	70 m
A	32	0.20	0.30	0.36	0.40
B	35	0.07	0.125	0.18	0.27
C	28	0.09	0.125	0.145	0.17
D	26	0.12	0.16	0.185	0.20
E	43	0.06	0.0825	0.105	0.12
F	44	0.08	0.115	0.14	0.17
G	32	0.17	0.24	0.30	0.31
H	58	0.10	0.135	0.16	0.18
I	41	0.06	0.13	0.22	0.35
J	42	0.08	0.15	0.19	0.23

Remarquons que les courbes du dépliant II (Sujets A à J) qui reproduisent les valeurs mentionnées sur le tableau précédent affectent l'allure de droites, quand il est fait usage d'abscisses logarithmiques pour les éclairements.

Nous pouvons donc poser :

$$\log B = A d + C$$

B étant la brillance minimum nécessaire à la visibilité du test et d la distance du test au sujet.

Les valeurs moyennes des dix sujets sont consignées dans le tableau XXII et reproduites sur la *fig. 26*, (*Courbes V_B et V_J*).

TABLEAU XXII

Éclairéments correspondants à la limite de perception d'un test

	20 m	40 m	55 m	70 m
Lumière blanche (<i>lux</i>)....	0.128	0.21	0.288	0.373
Lumière jaune (<i>lux</i>).....	0.105	0.14	0.195	0.24

La brillance minimum nécessaire à la visibilité, est toujours plus faible en lumière jaune qu'en lumière blanche et l'écart est d'autant plus important que la distance considérée est plus grande.

Il est intéressant, au surplus, de noter que ces courbes font apparaître, à égalité d'éclairement, une distance de visibilité en lumière jaune très supérieure à celle en lumière blanche.

Ainsi, parallèlement à l'accroissement d'acuité constatée précédemment, nous observons une augmentation de la visibilité des objets de dimensions notables lorsque ceux-ci sont éclairés en lumière jaune.

J'ai recherché si cette plus grande facilité à distinguer un objet ne permettait pas d'expliquer l'augmentation de portée du faisceau, constatée par la plupart des conducteurs d'automobiles utilisant la lumière jaune.

Les courbes précitées montrent que pour un égal éclairage sur le test, le sujet peut, en lumière jaune, s'éloigner de 50 %, mais dans le cas d'un conducteur d'automobile les conditions d'expériences ne sont plus les mêmes. En effet, dans ce dernier cas, l'observateur occupe une position solidaire de celle des projecteurs. Si l'on suppose qu'il s'éloigne du test, il est évident que l'éclairement de celui-ci diminue parallèlement.

Il est facile de déterminer comparativement les distances auxquelles un observateur percevra le test en lumière blanche et en lumière jaune lorsque le projecteur est déplacé en même temps que l'observateur (cas d'une voiture automobile).

Sur la *figure 26* représentant les distances limites de visibilité du test (courbes V_B et V_J) en fonction des éclairagements reçus, j'ai porté, en fonction de la distance, les courbes des éclairagements produits dans une atmosphère claire par trois projecteurs d'automobiles de grande, moyenne et petite puissance, munis respectivement de lampes incolores et de lampes jaunes aux caractéristiques électriques identiques, ce qui n'exclut pas l'absorption due au verre.

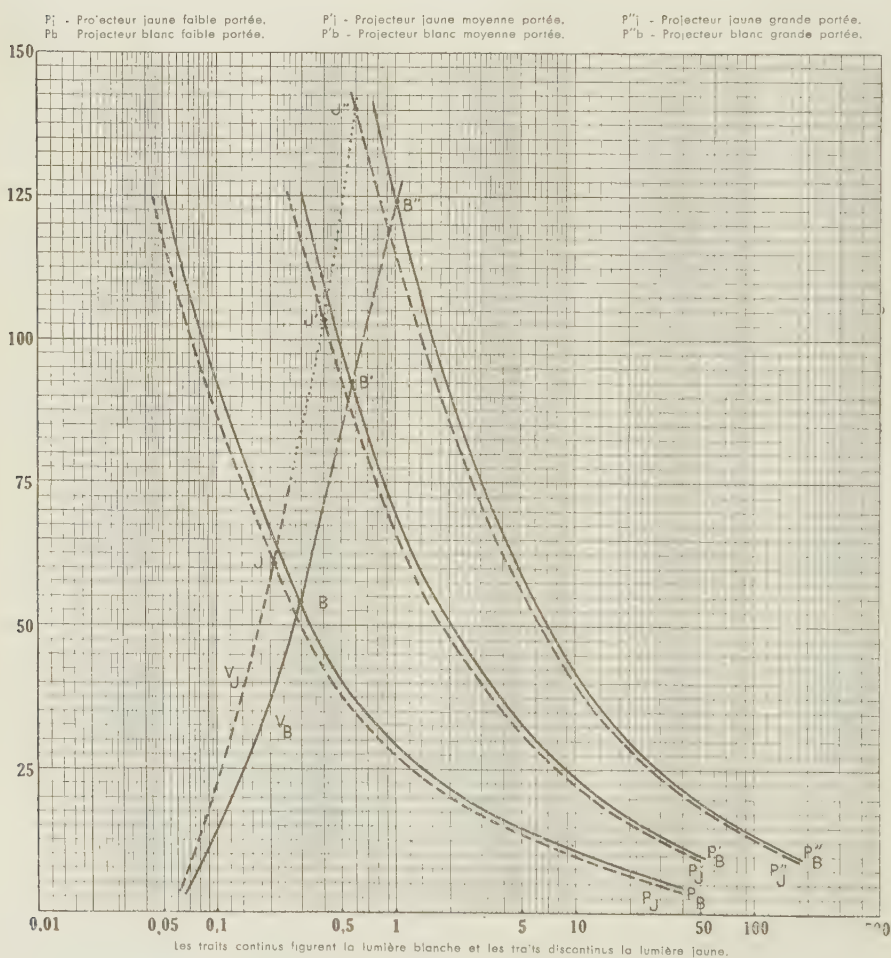


Fig. 26. — Courbes moyennes de visibilité et courbes d'éclairage de trois projecteurs.

J'ai appelé ces courbes, P_B , P'_B , P''_B en lumière blanche et P_J , P'_J , P''_J en lumière jaune. Le décalage des courbes résulte de l'absorption due à l'ampoule.

Elles rencontrent respectivement les deux courbes V_B et V_J en six points B, J, B', J', B'', J'', qui représentent deux à deux pour chaque puissance envisagée la portée du projecteur pour le test considéré. En effet, le point B' représente la distance à laquelle un observateur cessera d'apercevoir le test quand il est éclairé par le projecteur de moyenne puissance muni d'une ampoule incolore, et le point J' la distance à laquelle le même observateur cessera d'apercevoir le même test quand celui-ci est éclairé par le même projecteur muni d'une lampe jaune de même puissance.

Les quatre autres points B, J, B'', J'', donnent des résultats comparables lorsqu'il est fait usage des deux autres types de projecteurs.

On voit que, dans ce cas de la pratique, en dépit de l'absorption du verre jaune, il subsiste en atmosphère claire, un gain appréciable de portée de l'ordre de 10 à 15%.

b) Effets du brouillard sur la portée d'un projecteur.

LORD RAYLEIGH a montré que, lorsque la diffusion est produite uniquement par diffraction de la lumière sur des particules dont les dimensions sont petites devant la longueur d'onde des radiations, le flux lumineux diffusé est proportionnel au carré du volume des particules et inversement proportionnel à la quatrième puissance de la longueur d'onde.

Le facteur de transmission régulière d'un milieu trouble non absorbant formé de particules sphériques dont le diamètre est faible en comparaison de la longueur d'onde λ de la lumière utilisée, est donné pour une épaisseur x de milieu, par la formule :

$$\tau = e^{-\frac{k x}{\lambda^4}}$$

Lorsque les dimensions des particules ne sont plus négligeables devant la longueur d'onde, la loi de LORD RAYLEIGH n'est plus rigoureusement applicable, les radiations de courte longueur d'onde étant toujours moins diffusées que ne l'indique cette loi.

M. BOUTARIC a indiqué qu'une expression de la forme

$$\tau = e^{-\frac{k \cdot x}{\lambda \cdot n}}$$

dans laquelle n est inférieur à 4, est susceptible d'être appliquée à ces milieux.

MM. CHENEVEAU et AUDUBERT, étudiant la diffusion par les milieux troubles constitués par des sphérules transparentes de diamètres compris entre 1 et 12 microns, ont établi par l'expérience que, dans la formule de Lord RAYLEIGH généralisée aux milieux troubles à grosses particules, l'exposant n , fonction de la grosseur et du nombre des particules, peut varier de -4 à -1 quand le diamètre et le nombre des particules augmentent.

Si n est positif, le milieu trouble diffuse davantage le bleu que le rouge ; si n est négatif, le rouge est plus diffusé que le bleu.

Ce phénomène explique la coloration des milieux troubles : la couleur bleue du ciel est due, ainsi que l'a indiqué Lord RAYLEIGH, à la diffusion de la lumière solaire par les molécules gazeuses de l'atmosphère raréfiée des hautes altitudes.

La dimension des particules des brouillards généralement observés dans nos régions donne le plus souvent pour n une valeur positive.

D'autre part, il résulte des essais faits par M. Yves ROCARD que l'atmosphère ne peut jamais être considérée comme absolument pure.

La diffusion moléculaire conduisant à un coefficient de transparence de l'ordre de 0,99 par kilomètre, alors que les coefficients de transparence de l'atmosphère ne sont jamais supérieurs à 0,95 aux basses altitudes et à la pression atmosphérique normale, il faut conclure à la présence de particules de provenances diverses (poussières et fumées), ayant un diamètre moyen de 0,2 micron environ, qui agissent sur la lumière comme les molécules d'un milieu trouble à petites particules. Ainsi, la formule généralisée de Lord RAYLEIGH dans laquelle n est égal à 2,5 est le plus souvent applicable à la diffusion des projecteurs, même par temps clair comme l'entendent ordinairement les usagers de l'automobile.

Or, mes dernières expériences ont été exécutées par un temps dépourvu de brume, c'est-à-dire un temps clair comme on a l'habitude de l'entendre couramment, mais qui ne peut être cependant assimilé à un milieu parfaitement limpide. Il conviendrait dès lors de tenir compte de l'absorption due aux gouttelettes d'eau, et éventuellement aux poussières en suspension dans l'atmosphère qui ont pour effet de modifier, d'une part, les courbes d'éclairement des projecteurs, d'autre part, les courbes de visibilité du test. Il est intéressant de rechercher comment se traduit cette influence des particules en suspension dans l'atmosphère.

1°) *Modification des courbes d'éclairement.*

J'ai effectué des expériences dans une salle de 15 mètres de longueur dans laquelle j'avais produit un épais brouillard de vapeur d'eau, comparable aux brouillards les plus denses qu'il soit permis d'observer.

Etant données les dimensions réduites de la salle, j'ai utilisé un projecteur à faisceau très étroit. La puissance des lampes était relativement faible pour permettre une portée limitée, mais, par contre, la température de couleur de leurs filaments était identique à celle des lampes plus puissantes utilisées pour les essais précédents.

J'ai constaté, ainsi que le montrent les courbes d'éclairement en fonction de la distance (*fig. 27*), que l'absorption de lumière par le brouillard est plus élevée en lumière blanche (*courbe Q_B*) qu'en lumière jaune (*courbe Q_J*). Les résultats d'expériences sont consignés dans le tableau XXIII.

TABLEAU XXIII
MESURES DES ÉCLAIREMENTS SUR L'AXE DU PROJECTEUR

Distance	Sans brouillard		Avec brouillard	
	Lumière blanche	Lumière jaune	Lumière blanche	Lumière jaune
2 m	10 800 lux	9 800 lux	4 200	3 800
3 m	6 300	5 800		
4 m	4 000	3 800	500	486
5 m	2 530	2 500		
6 m	2 000	1 830	92	83
7 m	1 420	1 380		
8 m	1 050	900	22,5	20,6
10 m	600	530	5,2	4,9
12 m	430	350	1,35	1,33
14 m	310	270	0,40	0,42

J'ai également relevé dans la même salle et avec les mêmes projecteurs, les courbes d'éclairement en l'absence de brouillard artificiel (*fig. 27, courbes P_B et P_J*).

2°) Modification des courbes de visibilité.

J'ai exécuté, dans les mêmes conditions, des expériences de visibilité d'un test dans le brouillard artificiel et en l'absence de brouillard. (Tableaux XXIV).

Les résultats d'expériences sont consignés dans le tableau XXIV et portés sur la *fig. 27 (courbes V'_B et V'_J avec brouillard ; courbes V_B et V_J sans brouillard)*.

TABLEAU XXIV
COURBES DE VISIBILITÉ D'UN TEST
AVEC BROUILLARD

LUMIÈRE JAUNE		LUMIÈRE BLANCHE	
Distance en mètres	Eclairement en lux	Distance en mètres	Eclairement en lux
8,10	1,6	8,10	3,1
9,80	2,5	9,80	4,8
14,	10	14	22

SANS BROUILLARD

LUMIÈRE JAUNE		LUMIÈRE BLANCHE	
Distance en mètres	Eclairement en lux	Distance en mètres	Eclairement en lux
7	0,12	7	0,16
10	0,14	10	0,17
14	0,14	14	0,19

Les points d'intersection A_B et A_J des courbes de visibilité avec les courbes d'éclairement, qui donnent la portée du projecteur pour le test utilisé, n'accusent qu'une très légère augmentation de portée en lumière jaune. Cette faible augmentation peut être attribuée à la nature particulièrement absorbante de ce brouillard très dense, qui a modifié notablement les courbes d'éclairements. Cette altération s'est traduite graphiquement par un rabattement important des courbes vers l'axe des abscisses. Cependant, des

accroissements assez considérables de portée peuvent être constatés en lumière jaune dans le cas de brouillards légers. En effet, la modification de l'allure des courbes d'éclairements n'est alors pas très sensible, mais le déplacement angulaire des courbes de visibilité peut être nettement plus accusé en lumière blanche qu'en lumière jaune.

Les traits continus figurent la lumière blanche et les traits discontinus figurent la lumière jaune.

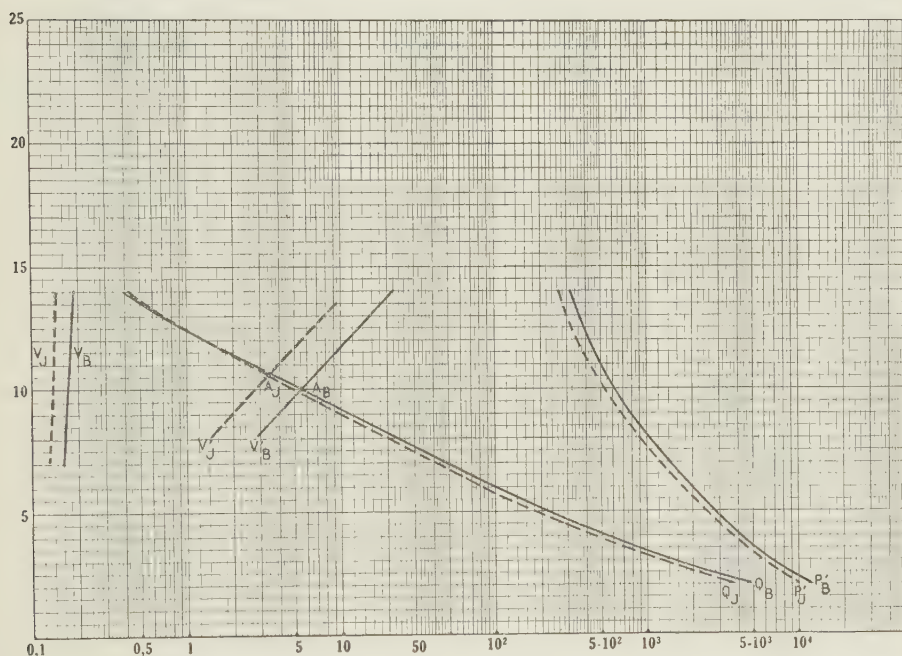


Fig. 27. — Courbes de visibilité et courbes d'éclairement dans une atmosphère de brouillard.

Avant de terminer ce chapitre, je crois utile d'insister sur ce fait que toutes mes expériences ont été exécutées en éclairant à volonté le test avec un faisceau blanc ou jaune, par le changement des lampes du projecteur. Au contraire, certaines expériences relatives au brouillard ont été entreprises par des expérimentateurs étrangers en interposant simplement, entre les yeux des sujets et les tests, un filtre jaune et en comparant les résultats obtenus avec ou sans interposition du filtre.

J'estime que les résultats obtenus par une telle méthode ne peuvent correspondre à ceux que j'ai constaté et surtout permettre de tirer une conclusion définitive de l'influence du brouillard sur la portée des projecteurs en lumière blanche et en lumière jaune.

En effet, nous avons vu que le brouillard diminue, avec la distance, l'écart existant primitivement entre l'éclairement produit par le faisceau jaune et celui produit par le faisceau blanc. Dès une certaine distance, on constate même que, non seulement les éclairagements deviennent égaux, mais encore que l'éclairement dû au faisceau jaune peut devenir supérieur à celui dû au faisceau blanc.

Or, en utilisant un filtre jaune devant l'œil du sujet, tout se passe comme si en chaque point l'éclairement était toujours diminué en lumière jaune dans le rapport du facteur de transmission du filtre.

Les courbes de visibilité sont elles-mêmes modifiées, comme nous l'avons vu précédemment, par l'effet du brouillard. Si l'on fait usage du même faisceau en se contentant d'interposer un filtre jaune devant l'œil, la brillance des gouttelettes est évidemment diminuée en lumière jaune du fait de l'absorption du filtre, mais rien ne permet de penser que ces deux phénomènes sont identiques. En fait, les deux méthodes sont différentes et l'on ne saurait, à mon avis, considérer comme déterminantes des expériences réalisées à l'aide d'un filtre jaune placé devant les yeux d'un sujet.

3° PERTURBATIONS VISUELLES

Ayant étudié dans les deux premières parties de ce chapitre l'influence comparée de la lumière blanche et de la lumière jaune sur la visibilité, tant au point de vue de la facilité de distinguer le détail des objets, que de celle de percevoir leur forme, j'ai voulu réserver la troisième partie de mon étude aux perturbations qui résultent de l'emploi de ces deux lumières pour un automobiliste.

En premier lieu, perturbations qui résultent de l'emploi de l'une ou de l'autre de ces lumières, quand l'œil est ramené brusquement à la vision des objets en faible lumière et qu'il lui faut un certain temps pour se réadapter.

Enfin, perturbations accompagnant l'emploi de l'une ou de l'autre de ces lumières et modifiant la valeur même de la vision par suite de la fatigue consécutive à une durée excessive d'impression des éléments rétinien.

J'ai donc étudié :

- a) Le temps de réadaptation nécessaire à la vision à faible lumière après suppression brusque de la source d'éclairage intense ;
- b) La modification de l'acuité visuelle et la rapidité de discrimination en fonction du temps d'impression de l'œil.

a) Temps de réadaptation.

V. ACCARDI (1), dans une étude sur le minimum de lumière perceptible, consacre une partie de ses travaux à l'adaptation à l'obscurité, et se réfère notamment à ceux entrepris par GASTEIGER.

GASTEIGER a réalisé des expériences sur la réadaptation de l'œil à l'obscurité après exposition à diverses lumières spectrales. Après une adaptation de vingt minutes à la lumière rouge, orange, verte et bleue, cet auteur a examiné la réadaptation à l'obscurité de dix personnes normales. Il a trouvé que les brillances nécessaires pour provoquer une sensation dans l'obscurité sont d'autant plus faibles que la longueur d'onde de la lumière utilisée au préalable est plus grande.

(1) Annali di Ottalmologia Occulistica, N° 7 et 8, 1933.

Cette constatation revêt un intérêt particulier pour le conducteur d'automobile qui peut, à tout moment, par accident, être privé brusquement de l'éclairage des projecteurs et se trouver dans l'obligation de diriger son véhicule jusqu'à l'arrêt complet à l'aide seulement de la lumière nocturne.

Diverses expériences sur route m'avaient, par ailleurs, permis de penser qu'en lumière jaune la réadaptation à l'obscurité est plus rapide qu'en lumière blanche; j'avais notamment constaté, qu'au moment du crépuscule, lorsque la conduite est particulièrement pénible, du fait de la superposition de la lumière artificielle à la lumière naturelle, l'adaptation à cette quasi-obscurité était beaucoup plus rapide s'il était fait usage d'un éclairage jaune.

La lumière crépusculaire produite par la diffusion de la lumière solaire dans l'atmosphère est riche en radiations de courte longueur d'onde. La réadaptation à cette lumière sera donc d'autant plus rapide que l'éclairage intense, nécessaire à la conduite d'une automobile, conservera la sensibilité de l'œil aux radiations de courte longueur d'onde, ce qui est le cas en éclairage jaune.

J'ai donc essayé de mesurer ce temps de réadaptation sur divers sujets observant des tests éclairés par le faisceau d'un projecteur, en lumière blanche et en lumière jaune. Les conditions d'expérience étaient les suivantes :

Un observateur situé à proximité du projecteur regardait pendant une durée déterminée le test gris foncé placé à 30 mètres devant lui. L'éclairement sur ce test était de 30 lux. J'ai, pour chaque sujet, fait varier le temps d'observation de ce test et mesuré pour chaque durée d'observation le temps de réadaptation à l'obscurité, entendant par obscurité, celle d'une nuit sans lune par temps découvert.

L'éclairement produit sur le test par une lampe à ampoule incolore de petite puissance était dans ce cas de 0,03 lux. Pour cette mesure, le sujet était porteur d'un chronomètre dont il mettait l'aiguille en mouvement à l'instant précis où cessait l'éclairage sur le test. Il arrêtait l'aiguille dès que le contour extérieur du test lui apparaissait nettement (*fig. 24*).

Les mesures ont été effectuées sur dix sujets. Les résultats sont consignés dans le tableau XXV qui reproduit les moyennes

des temps de réadaptation en fonction de la durée d'observation du test à la lumière artificielle.

Il résulte de l'examen des courbes des valeurs moyennes (*fig. 28*) que le temps de réadaptation aux faibles éclairagements est d'autant plus long que le temps d'observation du test aux éclairagements intenses est plus élevé ; en outre, l'emploi d'une lumière jaune diminue notablement ce temps de réadaptation.

TABLEAU XXV
ÉTUDE DU TEMPS DE RÉADAPTATION

Temps d'observation en lumière jaune	Temps de réadaptation après suppression de l'éclairage jaune (en secondes)										Valeurs moyennes (en secondes)
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	
5 secondes	5	10	4	5	3	2	5	2	2	4	4.2
10 »	10	11	8	9	3	3	7	3	2	5	6.1
20 »	18	20	16	18	5	6	10	6	4	8	11.1
30 »	17	30	18	19	5	10	10	6	5	12	13.2
60 »	16	32	25	21	6	20	14	13	10	22	17.9
2 minutes	22	40	37	25	7	27	14	18	12	30	23.2
3 »	27	48	54	29	7	31	15	22	14	35	28.2

Temps d'observation en lumière blanche	Temps de réadaptation après suppression de l'éclairage blanc (en secondes)										Valeurs moyennes (en secondes)
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	
5 secondes	5	10	7	8	4	3	5	3	4	6	5.5
10 »	9	14	12	18	5	4	6	5	4	7	8.4
20 »	18	26	19	25	7	10	10	13	7	8	14.3
30 »	25	31	25	23	9	13	10	14	13	10	17.3
60 »	31	35	32	27	9	30	14	18	15	18	22.9
2 minutes	35	40	45	30	10	34	17	23	17	30	28.1
3 »	39	47	61	33	10	40	16	28	20	37	33.1

On constate également que le temps de réadaptation croît d'abord notablement avec le temps d'observation, mais qu'il tend vers une limite qui semble être atteinte au delà de trois minutes. Cette limite est en lumière blanche supérieure d'environ 15 % à celle en lumière jaune.

Par ailleurs, le processus de réadaptation est différent ; en lumière blanche, dès l'extinction de la lumière artificielle, il existe un temps très court pendant lequel le sujet ne distingue plus rien, puis voit apparaître une image accidentelle, enfin il perçoit le test par intermittence sous l'aspect d'une tache faiblement

éclairée sans qu'il puisse en distinguer les contours. Ce n'est qu'après un certain temps (voir tableau XXV), variable suivant les sujets, que la vision distincte est recouvrée.

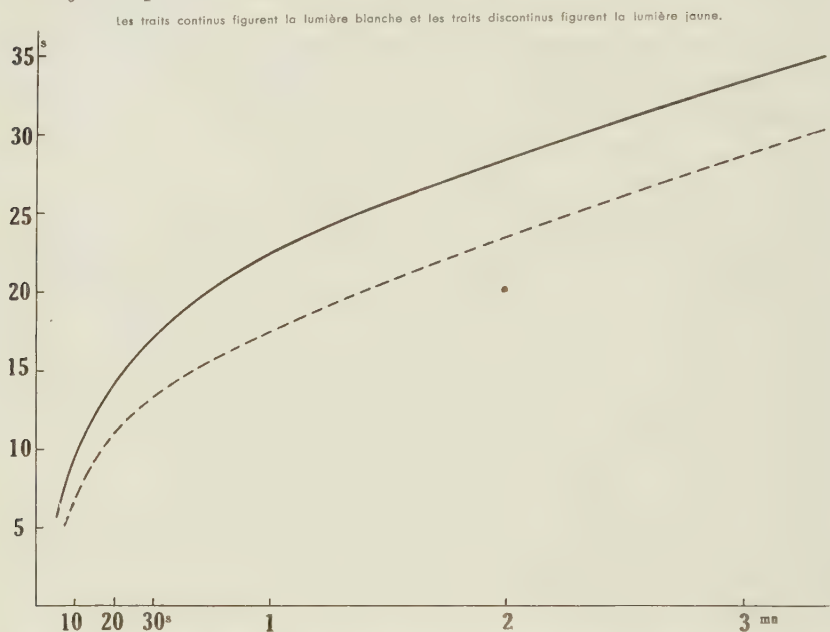


Fig. 28. - Courbes du temps de réadaptation en fonction du temps d'observation d'un test.

En lumière jaune, la durée de persistance de l'image accidentelle est presque nulle pour tous les sujets.

Ces expériences sur la réadaptation à la vision d'un test aux faibles lumières après extinction de la source lumineuse d'éclairage, peuvent être comparées à celles précédemment entreprises par le Dr FAILLIE et ses collaborateurs sur la réadaptation à la vision d'un test après éblouissement par une source intense et qui faisaient ressortir un avantage considérable en faveur de la lumière sélectionnée.

b) **Modification de l'acuité visuelle et de la rapidité de discrimination en fonction du temps.**

La composition spectrale de la lumière influe très certainement sur la fatigue oculaire. On sait, en effet, que les radiations bleues, violettes et ultra-violettes ont la propriété de produire, dans certaines conditions, des érythèmes et des conjonctivites. Des éclair-

ments intenses et prolongés peuvent donc provoquer des troubles visuels qui, sans atteindre la gravité d'une altération des cellules vivantes, sont néanmoins de nature à modifier temporairement les facultés de l'œil, et plus particulièrement l'acuité.

Pour juger de la valeur pratique d'un éclairage, il est nécessaire de se rendre compte de l'action de cet éclairage sur la vitesse à laquelle un individu peut percevoir les détails d'un objet.

Cette détermination de la vitesse de perception peut être faite en imposant à un sujet la lecture d'un certain nombre de lignes, mais encore faut-il que les distances de l'œil aux différents points d'une même ligne soient sensiblement égales afin qu'il ne puisse se produire de modification sensible du facteur de réflexion du test.

J'ai choisi pour réaliser cette expérience la lecture d'un texte sur papier mat, formé de caractères de 1,3 mm de hauteur et d'une épaisseur de 0,3 mm, écrit en latin afin que la lecture ne soit pas modifiée par la compréhension du texte.

Le sujet étant placé à une distance inférieure de 20 centimètres à celle correspondant à son acuité normale, les distances correspondantes pour chaque sujet étaient telles que l'accommodation ne pouvait varier sensiblement avec les divers points du texte. L'éclairement sur le texte était de 86 lux.

J'ai noté pour chaque sujet le nombre de syllabes lues en lumière blanche et en lumière jaune ainsi que les distances de l'œil au texte, au début et en fin d'opération, afin de déterminer la variation relative d'acuité pendant celle-ci.

Les résultats obtenus sur certains des sujets précédemment expérimentés, sont consignés dans le tableau XXVI et représentés sur la figure 29.

L'examen des courbes de lecture est intéressant à un double point de vue : il permet d'apprécier la facilité de lecture ainsi que la fatigue provoquée par celle-ci.

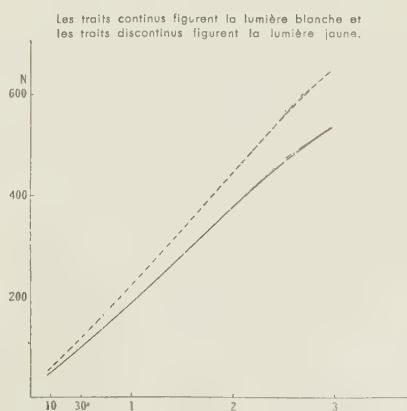


Fig. 29. — Courbes de lecture.

En effet, on constate que, placé à une même distance du test dans les deux cas, le sujet distingue mieux et lit plus vite en lumière jaune qu'en lumière blanche ; la courbe représentative du nombre

TABLEAU XXVI
ÉTUDE DE LA RAPIDITÉ DE LECTURE

LUMIÈRE BLANCHE							LUMIÈRE JAUNE						
Suj.	Variation d'acuité $V_1 - V_2$	Nombre de syllabes lues après un temps de lecture de :					Variation d'acuité $V_1 - V_2$	Nombre de syllabes lues après un temps de lecture de :					
	V_1	10 sec.	30 sec.	1 min.	2 min.	3 min.	V_1	10 sec.	30 sec.	1 min.	2 min.	3 min.	
A	0,006	41	91	160	292	414	0	44	120	219	395	553	
B	0,184	45	124	235	430	625	0,167	71	150	273	559	822	
C	0,077	39	91	169	396	561	0,016	53	120	227	447	633	
D	0,136	53	87	153	355	572	0,107	41	101	211	434	677	
E	0,072	39	112	227	426	521	0,059	65	131	227	413	580	
F	0,158	35	84	169	348	496	0,142	36	91	186	387	582	
Moyenne	0,106	42	98	185	374	531	0,083	51	119	224	447	641	

de mots lus, en fonction du temps est, en lumière jaune, située au-dessus de la courbe correspondante en lumière blanche ; on a pour les débuts de courbes les vitesses de lecture suivantes en nombre de syllabes par seconde :

$$v_J = 3,56$$

$$v_B = 3,15$$

En outre, on constate que, pendant les deux premières minutes de lecture, cette vitesse reste constante. A partir de ce moment, la vitesse décroît pour l'une et l'autre lumière. Les accélérations

négatives $\frac{\Delta v}{\Delta t}$ déduites des courbes entre les temps 2 et 3 minutes sont :

$$\frac{\Delta v_B}{\Delta t} = \frac{3.15 - 2.21}{60} = 0.0157$$

$$\frac{\Delta v_J}{\Delta t} = \frac{3.56 - 2.86}{60} = 0.0117$$

Ce calcul montre que l'on a :

$$\frac{\Delta v_B}{\Delta v_J} = \frac{0.0157}{0.0117} = 1.34$$

On peut admettre que la fatigue visuelle est proportionnelle à l'accélération négative de lecture et conclure de cette nouvelle expérience que, si elle apparaît en lumière jaune comme en lumière blanche, dès la deuxième minute de lecture, elle est en lumière jaune de 30 % inférieure à celle constatée en lumière blanche. Cette fatigue est comparable à celle produite sur un conducteur d'automobile à la suite d'une attention prolongée.

Ainsi qu'on peut le constater sur le tableau XXVI, la variation d'acuité est toujours moins élevée en lumière jaune qu'en lumière blanche, ce qui s'explique d'ailleurs par la moindre fatigue précédemment constatée.

CHAPITRE V

RÉSUMÉ ET CONCLUSIONS

J'ai poursuivi l'étude des caractéristiques du verre jaune au sulfure de cadmium. Ce verre, dont la mise au point pour une adaptation efficace à la fabrication des lampes pour automobiles a nécessité de nombreuses recherches, possède des propriétés particulières qui le différencient sans équivoque des verres usuels de coloration jaune et de composition chimique différente.

On peut tout d'abord souligner la réduction de l'éblouissement résultant de l'application de ce verre à la fabrication des ampoules de lampes pour projecteurs d'automobiles. Les travaux de MM. BLONDEL, FAILLIE, ESCHER-DESRIVIÈRES, JONNART et VIAL, sont concluants à cet égard.

L'étude des réactions physiologiques produites par la lumière blanche et par cette lumière jaune a été faite en utilisant des lampes à filament de tungstène, à la température de couleur de 2 850 degrés absolus, à ampoule en verre incolore (longueur d'onde dominante du rayonnement : 5 860 Angström, facteur de pureté : 0,51) et à ampoule en verre au sulfure de cadmium (longueur d'onde dominante du rayonnement : 5 825 Angström, facteur de pureté : 0,97).

Entreprise sur un certain nombre de sujets d'âge et de sexe différents, cette étude a permis de constater que :

1° A égalité d'éclairement, l'acuité visuelle, susceptible d'être représentée en fonction de l'éclairement par une formule logarithmique, est toujours plus élevée en lumière jaune qu'en lumière blanche, ce phénomène étant d'autant plus marqué que la dimension du test est plus faible ; l'augmentation constatée est de 10 à 15 % ;

2° A égalité d'acuité, les éclairements nécessaires en lumière jaune sont inférieurs de 50 % à ceux en lumière blanche ;

3° La brillance minimum nécessaire à la visibilité d'un objet est toujours plus faible pour les sujets du sexe féminin que pour ceux du sexe masculin et est d'autant plus élevée que le test est plus éloigné ; cette brillance est plus faible en lumière jaune qu'en lumière blanche. La différence est d'autant plus marquée que la distance est plus grande.

4° Dans le cas des projecteurs d'automobiles, l'augmentation de portée due à l'emploi de la lumière sélectionnée peut atteindre 15 % en atmosphère limpide ;

5° Le temps d'adaptation aux faibles éclairements, notamment à la lumière crépusculaire, est d'autant plus élevé que le temps d'observation d'un test soumis à un éclairage intense a été plus long et tend vers une limite après quelques minutes. Cette durée d'adaptation est plus faible en lumière jaune qu'en lumière blanche.

6° La fatigue oculaire résultant de la lecture d'un texte, comparable à celle éprouvée par un conducteur d'automobile, est, en lumière jaune, inférieure de 30 % à celle en lumière blanche.

De toutes ces constatations, il est intéressant de retenir qu'il ne m'a jamais été donné, même dans les circonstances les moins propices, de relever, pour des sujets normaux, des résultats défavorables à la lumière jaune. Celle-ci, par contre, dans la plupart des cas, accuse des avantages à divers points de vue qui en font ressortir l'intérêt dans son application à l'éclairage des automobiles.

BIBLIOGRAPHIE

- André BLONDEL. — Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences. Séance du 26 mars 1934.
- J. REY. — Cours professé à l'Ecole Supérieure d'Electricité, (1925).
- Dr Léon DYÉ. — De l'emploi des verres jaunes en ophtalmologie. Revue de Médecine et d'Hygiène Tropicales, 1907.
- A. MONNIER et M. MOUTON. — Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences. Séance du 29 mai 1933.
- J. REY. — Notice sur un nouveau système de phares à réflecteurs métalliques, Paris 1913.
- A. MARSAT. — Procès-verbaux des séances de la Société Française des Electriciens. Séance du 6 novembre 1933.
- H.-P. ROOKSKY. — Journal of Glass Technology, juin 1932.
- B. LONG. — Propriétés physiques et fusion du verre, Dunod 1933.
- H. HEINRICH C.-A. BECKER. — Sprechsaal, 1928.
- E. DAMOUR. — Cours de verrerie. Béranger, 1929.
- CORNING GLASS (New-York). — Patente américaine N° 436 257.
- A. BLANC. — Rayonnement. Armand Colin, 1930.
- W. E. FORSYTHE et A. G. WORTHING. — Commission Internationale de l'Eclairage. Genève, juillet 1924. Revue Générale d'Electricité, t. XX N° 9.
- H.-E. IVES. — Journal of the Franklin Institute, année 1933.
- W. DZIOBECK et M. PIRANI. — Recueil des travaux et comptes rendus des séances de la Commission Internationale de l'Eclairage. Saranac Inn, 1928.
- Ch. FABRY. — Introduction générale à la Photométrie.
- FAILLIE, ESCHER-DESRIVIÈRES, JONNARD et VIAL. — Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences. Séance du 25 septembre 1933.
- ESCHER-DESRIVIÈRES, FAILLIE et JONNARD. — Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences. Séance du 4 avril 1934.
- FAILLIE, JONNARD et VIAL. — Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences. Séance du 18 juin 1934.
- YVES LE GRAND. — Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences. Séance du 12 mars 1934.
- LA QUINZAINE MÉDICALE. — Numéros de février et mai 1934.
- H. PIERON. — Comptes rendus de la Cinquième Réunion de l'Institut d'Optique, 8 mai 1931.
- M. CHARPENTIER. — Impressions lumineuses sur la rétine. Traité de Physique Biologique, t. II, 1903.
- RECUEIL DES CONSTANTES PHYSIQUES. — Gauthier-Villars, 1913.

- M. COUVREUX. — Cours d'Optique physiologique professé à l'Ecole Supérieure d'Electricité, (1931).
- E. HAAS. — Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences. Séance du 23 mai 1933.
- Th. KLEIN. — De l'influence de l'éclairage sur l'acuité visuelle. Thèse présentée à la Faculté de Médecine de Paris, 1872.
- A. BROCA. — Mesure et utilisation de la lumière. Traité de Physique Biologique, t. II, 1903.
- H. SULZER. — Acuité visuelle. Traité de Physique Biologique, t. II, 1903.
- A. IMBERT. — Astigmatisme. Traité de Physique Biologique, t. II, 1903.
- H. LAGRANGE. — L'amblyopie crépusculaire. Société d'Ophthalmologie de Paris, 1929.
- G. HOLST. — Photométrie et Acuité visuelle. Physica, vol. 13, mars 1933.
- ELLIS FREEMAN. — Accomodation, pupillary and stimulus distance. Journal of the optical Society of America, t. 22, 1932.
- YVES ROCARD. — Visibilité de buts éclairés par un projecteur. Revue d'Optique, mai 1932.
- F. de LAPERSONNE et A. CANTONNET. — Manuel de Neurologie oculaire. Masson, 1923.
- BUREAU INTERNATIONAL DU TRAVAIL. — L'hygiène de l'Œil et le Travail industriel, juin 1923.
- V. ACCARDI. — La Soglia dell'eccitamento luminoso. Annali Ottalmologia e Clinica Oculistica, anno LXI, 1933. Fascicolo N° 7.
- A. JOBIN. — Spectrophotomètre G. Yvon. Notice théorique et pratique, 1922.
- J. ESCHER-DESRIVIÈRES. — La colorimétrie des sources lumineuses ponctuelles. Cambridge University Press, 1931.
- J. BEYSSE et G. WORMS. — L'acuité visuelle nocturne. Journal de Physiologie et de Pathologie générale, mars 1926.
- P. WAGUET et J. DOURGNON. — Le verre opalin et ses propriétés sélectives. Lux, février et mars 1930.
- PARINAUD. — Annales d'Oculistique, t. CXII, 1894.
- André BROCA. — Leçons d'optique physiologique, (1902).
- Giraud TEULON. — Acuité visuelle. Annales d'oculistique, t. LXXXI, 1879.
- MOTAIS. — Communication à l'Académie de Médecine. Les verres jaunes en Ophtalmologie, 27 mars 1906.
- TCHERNING. — Optique physiologique, (1906).

Vu et approuvé :
Caen, le 11 Mai 1935.
Le Doyen de la Faculté des Sciences,
BLANC.

Vu et permis d'imprimer :
Caen, le 11 Mai 1935.
Le Recteur de l'Académie de Caen,
L. MAIGRON.

SECONDE THÈSE

Propositions données par la Faculté

La métallurgie du Tungstène

Vu et approuvé :

Caen, le 11 Mai 1935

Le Doyen de la Faculté des Sciences,
BLANC.

Vu et permis d'imprimer :

Caen, le 11 Mai 1935

Le Recteur de l'Académie de Caen,
L. MAIGRON.

